

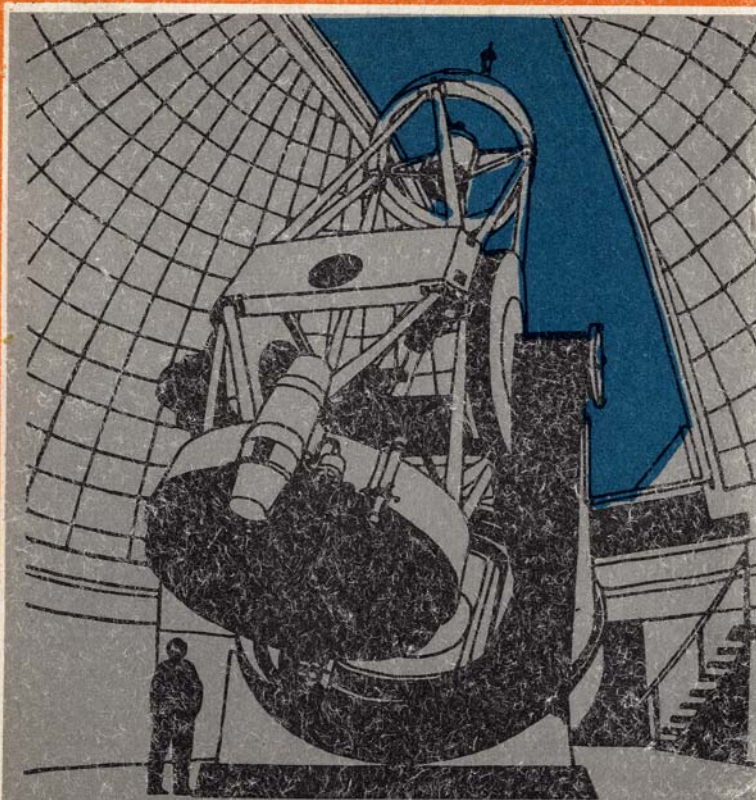
VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

П
Н
Т
П

Д. Н. ПОНОМАРЕВ

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ОБСЕРВАТОРИИ СОВЕТСКОГО СОЮЗА



Д. Н. ПОНОМАРЕВ

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ОБСЕРВАТОРИИ СОВЕТСКОГО СОЮЗА



МОСКВА «НАУКА»
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
1987

ББК 22.6
П56
УДК 520.1(075.8)

Рецензент
доктор физико-математических наук П. В. Щеглов

П56 Пономарев Д. Н.
Астрономические обсерватории Советского
Союза.— М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит.,
1987.— 208 с. (Пробл. науки и техн. прогресса).

Популярный рассказ о современных астрономических обсерваториях, которому предшествует исторический очерк. Приводятся данные об основных типах астрономических инструментов: оптических телескопах различного назначения, радиотелескопах, приемниках излучения. Описываются основные астрономические обсерватории Советского Союза, а также некоторые обсерватории узкой специализации (их главные инструменты и направления деятельности). Даются примеры внеатмосферных обсерваторий на ИСЗ и космических станциях.

Для астрономов, любителей астрономии, преподавателей, лекторов и широкого круга лиц, интересующихся естествознанием.

П 1705010000—159
053(02)-87 141-87

ББК 22.6

Дмитрий Николаевич Пономарев

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ОБСЕРВАТОРИИ СОВЕТСКОГО СОЮЗА

Серия: «Проблемы науки и технического прогресса»

Редактор И. Е. Рахлин

Художественный редактор Т. Н. Кольченко

Технический редактор И. Ш. Аксельрод

Корректоры Н. Д. Храпко, И. Я. Кришталь

ИБ № 12860

Сдано в набор 05.12.86. Подписано к печати 11.08.87. Т-17510. Формат 84×108/32. Бумага тип. № 1. Гарнитура обыкновенная. Печать высокая. Усл. печ. л. 10,92. Усл. кр.-отт. 11,34. Уч.-изд. л. 11,22. Тираж 20 300 экз. Заказ № 500. Цена 70 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Наука»
Главная редакция физико-математической литературы
117071 Москва В-71, Ленинский проспект, 15

4-я типография издательства «Наука»
630077 Новосибирск, 77, Станиславского, 25

© Издательство «Наука»
Главная редакция
физико-математической
литературы, 1987

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
Глава I. Немного истории	7
§ 1. В глубинах времени теряется...	7
§ 2. Александровский музей	10
§ 3. Обсерватория Улугбека	14
§ 4. Европейские обсерватории XVII и XVIII вв.	17
§ 5. Парижская обсерватория	19
§ 6. Гринвичская обсерватория	21
§ 7. Петербургская астрономическая обсерватория	25
§ 8. Основание Пулковской обсерватории	28
Глава II. Астрономические инструменты	34
§ 9. Основные характеристики телескопа	34
§ 10. Рефракторы, рефлекторы и зеркально-линзовые телескопы	37
§ 11. Монтировки телескопов	43
§ 12. Башня телескопа	46
§ 13. Приемники излучения	48
§ 14. Условия наблюдений. Астроклимат	55
Глава III. Телескопы специального назначения	58
§ 15. Инструменты позиционной астрономии	58
§ 16. Инструменты для наблюдений Солнца	65
§ 17. Радиотелескопы	73
Глава IV. Современные астрономические обсерватории нашей страны	77
§ 18. Как называются астрономические обсерватории	77
§ 19. Специальная астрофизическая обсерватория (САО)	81
§ 20. БТА — большой телескоп азимутальный	82
§ 21. Радиотелескоп РАТАН-600	93
§ 22. Пулковская обсерватория в наши дни	97
§ 23. Крымская астрофизическая обсерватория	110
§ 24. Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга (Московская обсерватория)	123
§ 25. Главная астрономическая обсерватория АН УССР	131
§ 26. Абастуманская астрофизическая обсерватория	135

§ 27. Бюраканская астрофизическая обсерватория	141
§ 28. Астрофизический институт АН Казахской ССР. Алма-Атинская обсерватория	147
§ 29. Астрономический институт АН Узбекской ССР. Ташкентская обсерватория	150
§ 30. Казанская астрономическая обсерватория	154
§ 31. Шемахинская обсерватория	157
§ 32. Наблюдательная база на Майданаке	159
Глава V. Специализированные астрономические обсерватории	162
§ 33. Солнечные обсерватории. Служба Солнца	162
§ 34. Саянская горная обсерватория	166
§ 35. Обсерватории Службы времени и Службы широты	168
§ 36. Китайская международная широтная станция им. Улугбека	173
§ 37. Радиоастрономические обсерватории	176
§ 38. Наземная гамма астрономия	181
§ 39. Обсерватория в недрах горы	184
Глава VI. Астрономические обсерватории в космосе	192
§ 40. Внеатмосферная астрономия	192
§ 41. Баллонная астрономия	194
§ 42. Астрономические наблюдения с искусственных спутников Земли и с космических аппаратов	198
§ 43. «Астрон»	202
Заключение	205
Приложение. Список основных астрономических обсерваторий Советского Союза с указанием даты основания	207

ВВЕДЕНИЕ

Часто мои новые знакомые, узнав, что перед ними астроном, обращаются с просьбой: — «А покажите, пожалуйста, нам небо в телескоп!» Услышав такую просьбу, я всегда испытываю некоторое смущение...

Разумеется, понятен интерес к исследованиям звезд, туманностей, галактик, квазаров и других небесных объектов, к познанию законов строения и развития Вселенной, к изучению многообразия форм материи и явлений, происходящих в ней, словом, ко всему тому, чем занимается астрономия.

Но удовлетворить желания любопытных не так-то просто. С одной стороны, это не просто сделать технически. В наши дни астрономы редко смотрят на небо простым глазом. Глаз слишком слабый и ограниченный в своих возможностях приемник излучения. Астрономические наблюдения — а все они сводятся к сбору электромагнитного излучения небесных объектов — проводятся с помощью более высокочувствительных и специализированных приборов, нежели человеческий глаз. Это могут быть фотоэлектрические приемники, ЭОП, телевизионные устройства и т. п. Примерно 50 % всех наблюдений выполняются в виде фотографий. Но и в тех редких случаях, когда астроном наблюдает визуально, т. е. простым глазом, — в поле зрения бывают видны одна или две звезды — картина маловыразительная. Поэтому, чтобы «показать небо», приходится специально налаживать визуальную аппаратуру, либо пользоваться вспомогательными телескопами — гидами. Но сейчас на больших телескопах и гида делаются фотоэлектрическими.

С другой стороны, у астрономов есть свой план работы — программа наблюдений. А небо далеко не всегда бывает ясным. Сплошь да рядом оно пасмурно, да не одну ночь, а несколько ночей подряд. И у астрономов срывается программа, они с нетерпением ждут, когда разъяснит, у них каждая минута на счету. Как говорят

§ 1. В глубинах времени теряется...

астрономы, — «неба мало». И поэтому часто, даже глубокой ночью, стоит только проясниться, астрономы встают с постели и идут наблюдать. Во многих случаях они даже не ложатся спать, а дежурят всю ночь, отведенную им по программе наблюдений.

Объекты астрономических наблюдений и способы их исследований достаточно разнообразны, но то, что объединяет всех астрономов, это — их инструменты, их телескопы. Они достаточно уникальны и представляют самостоятельный интерес. Вот их, поскольку это можно сделать днем или в свободное от наблюдений время, астрономы показывают любителям гораздо охотнее.

Каждый телескоп — это высокоточный и сложный прибор, объединяющий в себе оптическую систему и механическую монтировку. К нему прилагаются разнообразные приемники излучения и необходимая вспомогательная аппаратура. Работа на астрономических инструментах требует соответствующих форм организации. Такими организующими учреждениями являются астрономические обсерватории. О них, об их специфике, задачах, о том, с помощью каких инструментов и как работают астрономы, и будет рассказано в предлагаемой читателю книжке.

Астрономических обсерваторий много. Среди них и такие крупные, как Пулковская, САО или КрАО в СССР, Маунт Паломарская, Маунт Вилсоновская или Ликская в США, Гринвичская в Великобритании, Потсдамская в ГДР и некоторые другие. Среди них есть и небольшие, обладающие одним-двумя инструментами и работающие по узкой тематике, как, например, Благовещенская широтная станция или Солнечная станция в Уссурийске. Рассказать о всех обсерваториях не хватит места. Но общие принципы работы астрономов, конструкция их инструментов, специфика наблюдений, а также описания некоторых, наиболее известных обсерваторий нашей страны будут даны ниже.

Когда возникла астрономия? Пожалуй, точно на этот вопрос не ответит никто. Вернее, астрономия сопутствовала человеку всегда. Восходы и заходы Солнца определяют ритм жизни, являющийся биологическим ритмом человека. Распорядок жизни скотоводческих народов определялся сменой фаз Луны, земледельческих — сменой времен года. Ночное небо, положения звезд на нем, изменения положений — все это подмечалось еще тогда, в те времена, от которых не осталось каких-либо письменных свидетельств. Тем не менее именно задачи практики — в первую очередь ориентировка во времени и ориентировка в пространстве — явились стимулом для возникновения астрономических знаний.

Вот один пример. Несколько лет назад археолог В. Е. Ларичев, доктор исторических наук из Новосибирска, раскапывая поселение древнекаменного века вблизи Ачинска, к западу от Красноярска, нашел жезл с кольцом из бивня мамонта. И жезл, и кольцо покрыты змеевидными ленточными спиралями, небольшими углублениями и сложной сеткой узоров. Исследования жезла показали, что изображения на жезле составляют астрономический календарь, своего рода вычислительный прибор для счета лет и даже предсказания затмений. Жезл этот принадлежал людям, жившим в Сибири 18 000 лет назад. Как пишет В. Е. Ларичев: «Значение и комбинаторика удивительных чисел, познанных ими..., — самый высокий комплимент интеллектуальным и художественным способностям древних сибиряков» *).

Из каменного века дошли до нас мегалитические сооружения Стоунхенджа, удивительного храма-обсерватории на равнинах юго-западной Англии. Возведение этого кольцеобразного сооружения (рис. 1) было начато людьми каменного века. Его строили долго, время постройки относят к 2800—1600 годам до нашей эры. Заканчивали его уже люди бронзового века.

*) Ларичев В. Е. Пещерные чародеи. — Новосибирск, 1980. — С. 220.

Главную часть его составляет кольцо вертикально стоящих каменных столбов из песчаника типа, называемого сарсеном. Масса столба около 25 т, диаметр кольца — примерно 31 м. Сверху на столбы были положены горизонтальные плиты. Эту часть сооружения относят к

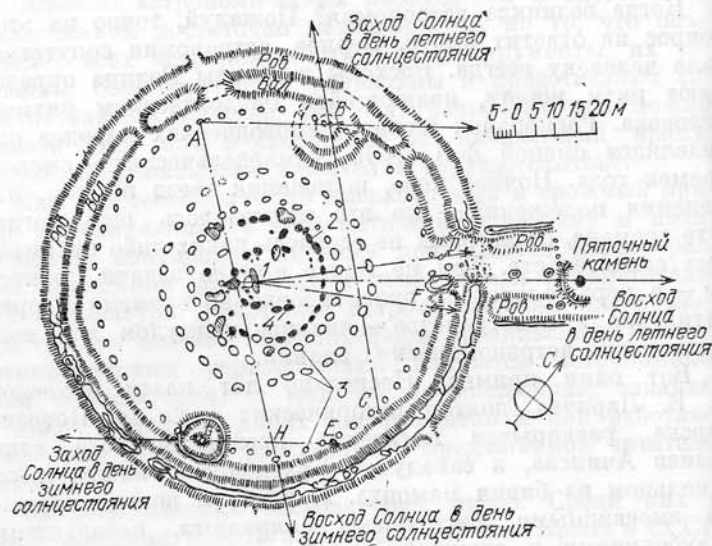


Рис. 1. Схема сооружений Стоунхенджа: 1 — центральный, так называемый «алтарный» камень размером $4,8 \times 1 \times 0,5$ м; 2 — основное кольцо каменных столбов; 3 — промежуточные кольца лунок: внутреннее кольцо диаметром 40 м (30 лунок), среднее диаметром 53,4 м (также 30 лунок) и внешнее кольцо, открытое Обри, диаметром 88 м (56 лунок); 4 — «подкова» трилитов из самых больших камней

2100 г. до н. э. В то время стояло 30 больших камней. Сейчас осталось стоять только 17 и сохранилось 6 перекалин. При всей массивности сооружения отклонения от идеальной окружности в ту или другую сторону не превышают 10 см.

Внутри кольца сарсеновых столбов стояло пять каменных арок в виде подковы, вогнутостью обращенной на северо-восток, из глыб массой около 50 т каждая: два камня служили опорами, а третий их перекрывал сверху. Такая конструкция получила название «трилит». Сейчас сохранилось только три таких трилита. Столбы арок поставлены тесно — между ними остается только узкая

щель, в которую не просунуть и головы. Снаружи, в 30 м за валом, на оси подковы, находился «пяточный» камень, окруженный небольшим рвом. Предполагают, что он служил ориентиром, соответствующим восходу Солнца в день летнего солнцестояния. Кольцо каменных столбов окаймлено круглым рвом диаметром 98 м, окруженным валами двухметровой высоты, и несколькими промежуточными кольцами, намеченными небольшими камнями или земляными лунками. Такие камни есть и внутри сарсенового кольца. Все в целом представляет собой величественное, и по-видимому, в древности красивое сооружение.

Стоунхендж был одновременно храмом и прообразом астрономической обсерватории. Щели каменных арок служили визирами, строго фиксировавшими направления из центра сооружения в различные точки на горизонте. Древние наблюдатели фиксировали точки восходов и заходов Солнца и Луны, определяли (и предсказывали) наступление дней летнего и зимнего солнцестояния, весеннего и осеннего равноденствий и, возможно, пытались предсказывать лунные и солнечные затмения. Как храм Стоунхендж служил величественным символом, местом религиозных церемоний, как астрономический инструмент — как бы гигантской вычислительной машиной, позволявшей жрецам — служителям храма предсказывать смену времен года.

Необходимость в установлении связи во времени между определенными астрономическими явлениями, летним и зимним солнцестояниями, сменой фаз Луны, восходами и заходами тех или других звезд с повседневными земными событиями особенно остро ощущалась в земледельческих районах Египта и на Ближнем Востоке. И неудивительно, что именно в Древнем Египте, в Вавилонии и Ассирии получила новое развитие наблюдательная астрономия.

Знание астрономических явлений, календарного счета, умение предсказывать такие явления, как покрытия звезд Луною, лунные и солнечные затмения, давали жрецам и другим служителям религиозных культов возможность представить себя в глазах населения облеченными особым доверием богов, посвященных в их тайны, и служило источником их власти.

Но если звезды позволяют предсказывать явления природы, то они «могут влиять и на судьбы людей». И тут к астрономии стала добавляться мистика и магия. От нее были не свободны и серьезные мыслители. Осно-

воположник научной медицины Гиппократ считал, что Плеяды, Арктур и Сириус имеют губительное влияние на здоровье человека. Он верил, что существуют критические дни, связанные с гелиакическими восходами и заходами, в которые здоровье человека подвергается особой опасности. Другой великий врач, Гален, полагал, что фазы Луны, связанные с высотой приливов и отливов (что верно), вызывают также ночные заморозки и росу, появляющуюся в светлые лунные ночи. Подобные взгляды, а их поддерживали и развивали жрецы, привели к рождению лженауки — астрологии.

Астрология зарождалась в Древнем Египте, Ассирии, Вавилонии. Особенно занимались ею халдеи — скотоводческие племена на северо-западном берегу Персидского залива. Халдеи несколько раз в VIII—VII вв. до н. э. захватывали власть в Вавилонии. Их увлечение астрологией и оккультными науками было настолько известно, что само наименование «халдей» стало восприниматься собирательным именем любых волхвов, чародеев и гадалей. Но особое распространение астрология получила позже, в средние века, в Западной Европе. Влияние астрологии оказалось настолько сильным, что даже в наши дни в странах Запада продолжают существовать многочисленные гадалы и астрологи, издаются разнообразные астрологические публикации и журналы.

§ 2. Александрийский музей

Серьезное научное развитие астрономии во многом связано с успехами, достигнутыми древними греками. Такие философы, математики и астрономы, как Анаксгор (ок. 500—428 г. до н. э.), Анаксимандр (ок. 610—546 г. до н. э.), великий Аристотель (384—322 г. до н. э.) и некоторые другие внесли свой существенный вклад в развитие астрономии как науки. Особый вклад внесли ученые Александрийской школы.

Город Александрия был основан в 332 г. до н. э. Александром Македонским. После его смерти Египтом правила династия Птолемеев, сделавших Александрию своей столицей. Птолемеи покровительствовали наукам и поэзии. При них был создан храм муз — Александрийский музей (*μουσαῖον*), своего рода академия наук, с богатейшей библиотекой, составившей славу этого учреждения, название которого — музей — стало нарицательным.

Для нашего рассказа важно, что при Александрийском музее возникла первая в мире научная астрономическая обсерватория, с которой, в той или иной мере, связаны имена всех выдающихся астрономов последующих пяти веков. Первыми из них были Аристарх Самосский, Аристил и Тимохарис.

Аристарх Самосский прославил свое имя, главным образом, тем, что впервые произвел определение расстояний до Солнца и Луны. Он нашел, что расстояние до Солнца в 18—20 раз больше, чем до Луны. Эта оценка ошибочна в 25 раз, но она сделана на основе научных предположений.

На обсерватории Аристарх ввел несколько новых инструментов. Он первый применил разделенный круг. Медный круг, разделенный на градусы, был установлен в плоскости небесного экватора, и с ним Аристарх определял время прохождения Солнца через точки весеннего и осеннего равноденствий.

Аристил и Тимохарис первыми стали определять положения ярких звезд путем определения их угловых расстояний от некоторых, заданных, точек небесной сферы. Они составили первый звездный каталог.

Позднее Клавдий Птолемей (ок. 87—165 г. н. э.) ввел наблюдения со стенным квадрантом, устанавливаемым с помощью отвеса, что явилось некоторым шагом назад. Но авторитет Птолемея, автора «Альмагеста» — «Великого математического построения астрономии в тринадцати книгах», в котором он использовал как свои наблюдения, так и наблюдения своих предшественников и в первую очередь Гиппарха, был так велик, что не только его система мира принималась истинною до Коперника, но и использовавшийся им инструмент — квадрант — служил прообразом главного астрономического инструмента вплоть до XVIII в.

Гиппарх (II в. до н. э.) жил и работал на острове Родос. Непосредственно его работы до нас не дошли, но о них довольно подробно рассказано в Птолемеевском «Альмагесте». Гиппарх изобрел новый, удобный и точный астрономический прибор — астролябию — с двумя взаимно перпендикулярными кругами. Наведение на звезды осуществлялось через диоптрические отверстия. Наблюдения с астролябией были наиболее точными по тем временам. Их погрешность составляла примерно 15', или 1/4 градуса. Он же ввел сетку географических координат — широт и долгот,

Гиппарх составил каталог положений 850 звезд и выдвинул идею, что для выявления небольших возможных изменений в положениях звезд нужно сравнивать их положения, разделенные значительным промежутком времени. Сравнив свои наблюдения с наблюдениями Аристиллы и Тимохариса, он открыл явление предвращения равноденствий, или прецессию, вследствие которой точка пересечения экватора с эклиптической, т. е. точка весеннего равноденствия, смещается к западу. Он обнаружил, что расстояние звезды Спика в созвездии Девы от точки весеннего равноденствия возросло за 150 лет примерно на 2° . У других звезд он обнаружил аналогичное смещение, причем одинаковый характер смещения свидетельствовал о перемещении самой точки весеннего равноденствия, а не о смещении отдельных звезд. Гиппарх оценил это смещение в $36''$ в год. По современным данным оно составляет $50,2''$.

Гиппарх не только составил каталог положений звезд, но и разделил все звезды по их блеску на шесть величин. Самые яркие названы звездами первой величины, самые слабые — шестой. Блеск звезды каждой следующей величины, что было установлено позднее, примерно в 2,5 раза слабее блеска звезды предыдущей величины. Шкала Гиппарха существовала почти неизменной до XIX в., когда Норман Р. Погсон в 1856 г. предложил оценивать блеск более строго: он принял, что звезды первой величины ярче звезд шестой величины ровно в 100 раз. При этом отношение блеска звезд двух соседних величин равно 2,512. Эта шкала, опирающаяся на фотометрические измерения, принята и сегодня.

История греческой астрономии практически заканчивается на Птолемея. После него не было высказано сколько-нибудь новых идей; серьезные наблюдения были прерваны примерно на восемь столетий, когда такие наблюдения были продолжены арабами.

Астрономические инструменты, созданные древними греками, послужили прообразом для всех астрономических инструментов вплоть до появления телескопов. Тригветрумы, стенные и перекладывающиеся квадранты и секстанты, астролэбии, армиллярные сферы хотя и совершенствовались и изготовлялись более точными сначала арабами в средние века, а позже — европейцами в XVI—XVII вв., но сохраняли принципы действия, заложенные еще в александрийской школе. Даже на обсерваториях великого Тихо Браге (1546—1601) были

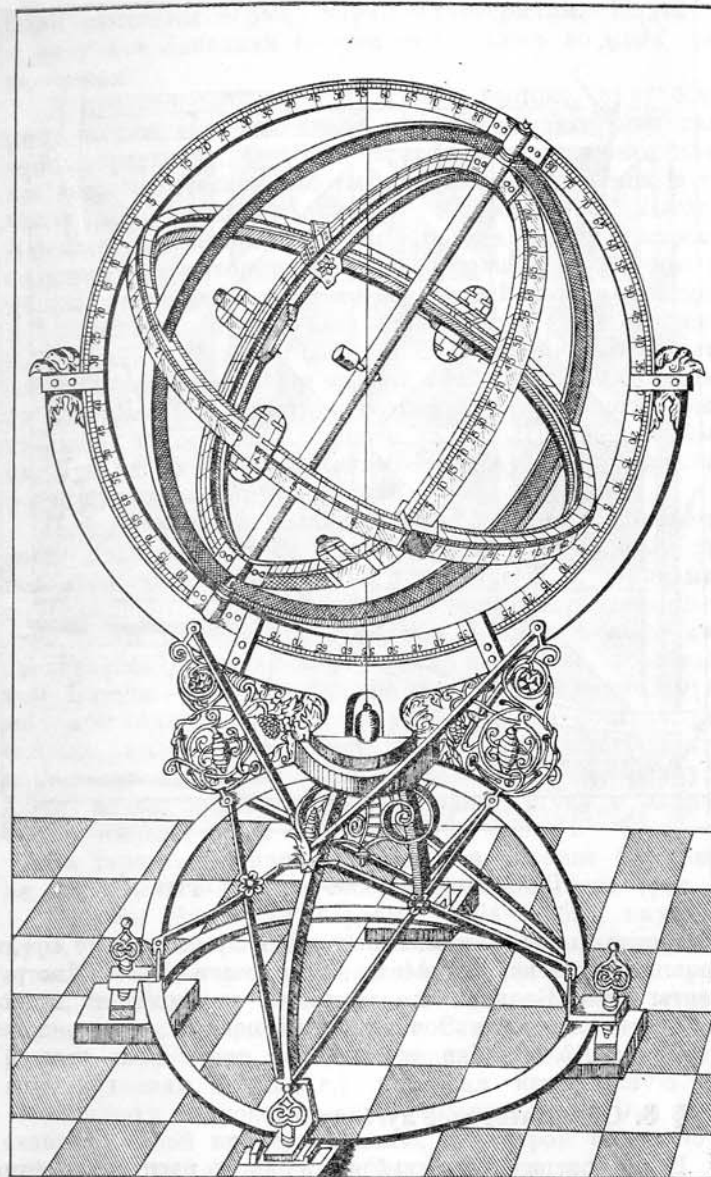


Рис. 2. Армиллярная сфера Тихо Браге

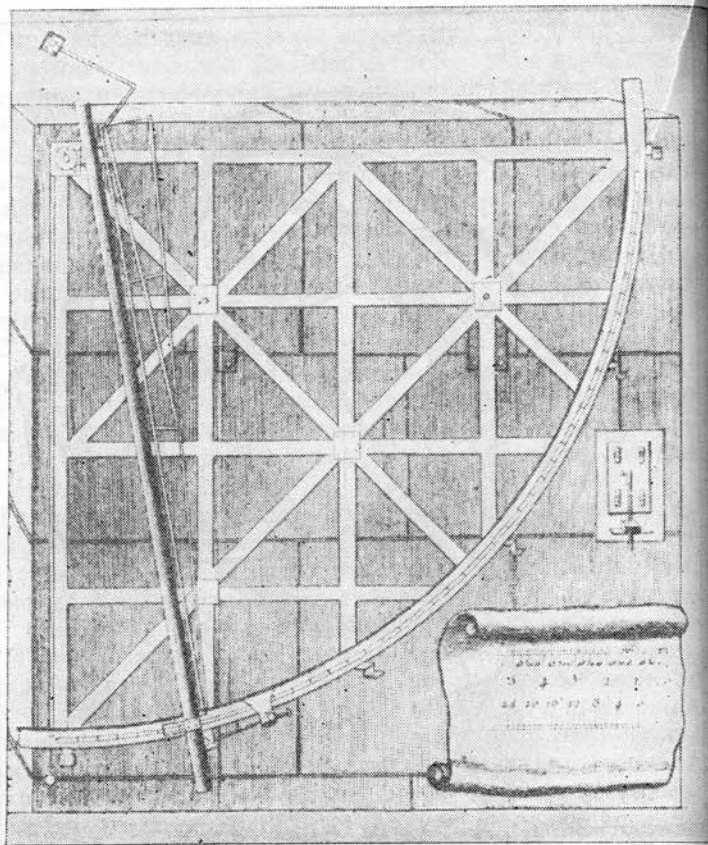


Рис. 3. Стенной квадрант Тихо Браге

установлены квадранты, секстанты и армиллярные сферы (рис. 2, 3). Века, разумеется, не прошли даром. Инструменты Тихо Браге и его искусство наблюдателя позволили ему повысить точность наблюдений примерно на порядок: его ошибки наблюдений составляли уже 2'.

§ 3. Обсерватория Улугбека

После распада Римской империи и распространения христианства науки в Европе заглохли. Была разрушена Александрийская библиотека и музей. Не только не возникало никаких научных учреждений, но вообще знания

были заменены верой, науки — суевериями. Почти на тысячу лет Западная Европа погрузилась во мрак средневековья.

В противоположность этому на востоке, в арабском мире, науки, и в том числе астрономия, получили дальнейшее развитие. В VIII—X вв. арабы перевели почти все астрономические работы греческих астрономов, в том числе знаменитый «Альмагест» Птолемея. В Багдаде, Дамаске и некоторых других городах были построены большие обсерватории. Арабы усовершенствовали инструменты александрийской школы, увеличили их размеры и повысили точность. Они прославились как искусные наблюдатели. Недаром даже в наше время большинство собственных имен звезд имеют арабское происхождение (в то время как названия созвездий — греческое). Были уточнены и составлены заново таблицы движения Солнца, Луны и планет, необходимые для нужд мореплавания и для сухопутных путешествий.

Полезно вспомнить, что в конце первого тысячелетия, когда христианская Западная Европа с суеверным трепетом ожидала предсказанного в конце X в. конца мира и «Страшного суда» и хронисты перестали вести летописи, жители покидали города и бежали в леса, либо предавались пьянству и разврату, в эти же годы великий Бируни — его правильное имя Абу-Райхан Мухаммад ибн Ахмад ал-Бируни (973—1048) — построил несколько высокоточных астрономических инструментов, в том числе неподвижный стенной квадрант радиусом 7,5 м, позволявший наблюдать Солнце, Луну и планеты с непревзойденной до того точностью около 2'—3'.

На территории нашей страны, на окраине Самарканда, сохранились остатки обсерватории Улугбека (рис. 4).

Улугбек Мухаммад Тарагай (1394—1449), внук Тимура, правитель обширной области — Мавераннахра, со столицей в Самарканде, а с 1447 г. и всей обширной империи Тимура. Пользуясь возможностями, которые ему давала власть, он привлек в Самарканд выдающихся ученых, астрономов и математиков, и в 1430 г. (по другим сведениям в 1424 г.) построил крупнейшую для своей эпохи астрономическую обсерваторию. Она представляла собой круглую башню, диаметром около 46 м, имевшую три этажа и наблюдательную площадку наверху. Сквозь всю башню, углубляясь в землю, в меридиане проходил основной астрономический инструмент — каменный квадрант (по другому мнению — секстант) —

из двух облицованных мрамором дуг, с лестницей между ними. Радиус квадранта составлял 40,2 м, а одному градусу соответствовало расстояние между делениями 70,2 см. Сохранилась нижняя часть этого инструмента, заглубленная в грунт, шириной в 2 м и глубиной в 11 м — часть дуги протяженностью около 32° . Считается, что этот гигантский инструмент употреблялся для определения угла наклона эклиптики к экватору, для наблю-

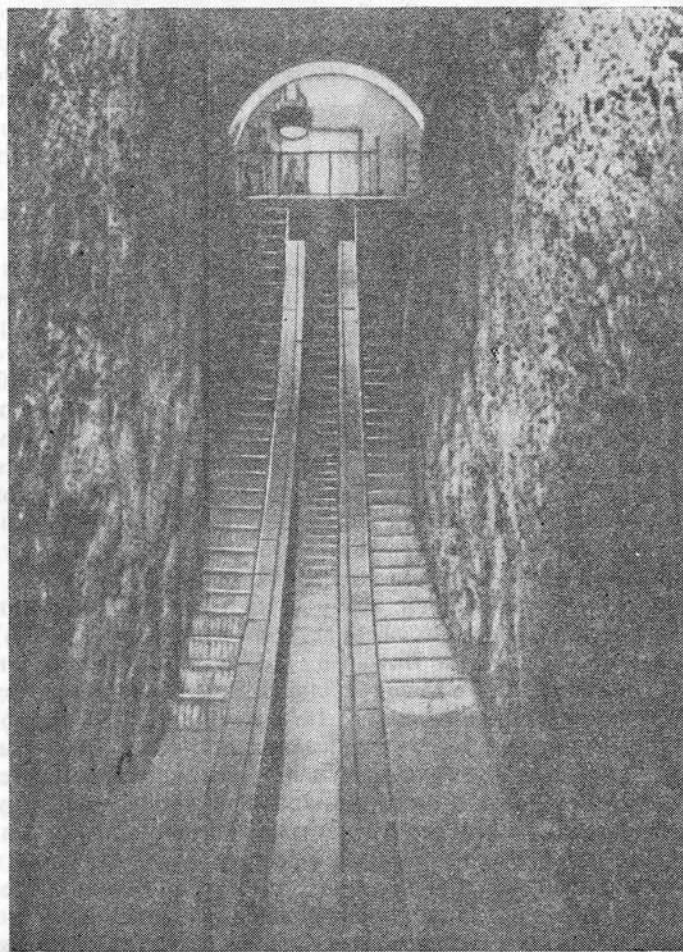


Рис. 4. Сохранившаяся часть обсерватории Улугбека в Самарканде

дений Солнца, Луны и планет. Для наблюдений звезд применялись меньшие инструменты, вероятно, устанавливаемые на верхней наблюдательной площадке. Эти инструменты не сохранились. Из наблюдений, впервые со времен Гиппарха, был получен каталог положений

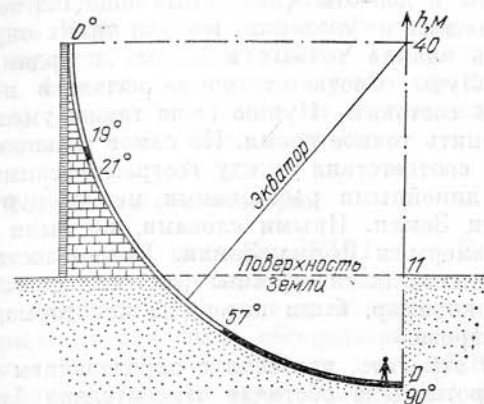


Рис. 5. Схема астрономического инструмента Улугбека

1018 звезд и составлены «Новые астрономические таблицы» (Зидж-и джодид-и Гурагани), содержащие помимо результатов наблюдений теоретические основы астрономических знаний того времени.

В 1449 г. старший сын Улугбека, Абд-ал-Летиф, подстрекаемый реакционным духовенством, предательски убил Улугбека и захватил власть. Обсерватория пришла в упадок и разрушилась. Ученики Улугбека спасли только рукописи.

Лишь в 1908 г. археолог В. М. Вяткин нашел ее остатки, а в 1948 г. благодаря усилиям В. А. Шишкина она была раскопана и частично реставрирована. Сохранившаяся часть обсерватории является уникальным архитектурным и историческим памятником и тщательно сохраняется. Рядом с обсерваторией ныне создан музей Улугбека.

§ 4. Европейские обсерватории XVII и XVIII вв.

Во второй половине XVII и в начале XVIII в. в Европе одна за другой стали возникать научные государственные обсерватории. Выдающиеся географические открытия, морские и сухопутные путешествия потребовали

более точного определения размеров земного шара, новых способов определения времени и координат на суше и на море.

Единственным более или менее надежным средством определения географического положения были определения широты и долготы (введенных еще Гиппархом) из астрономических наблюдений. Но для таких определений требовалось знание точных небесных координат звезд, планет и Луны. Соответствующие каталоги и таблицы требовалось составить. Нужно было также уметь определять и хранить точное время. Но самое главное — не было точного соответствия между географическими координатами и линейными расстояниями между пунктами на поверхности Земли. Иными словами, не были известны точные размеры и форма Земли. Погрешности определения координат были огромны (иногда более $1,5^\circ$). Из-за этого, например, были потеряны некоторые, уже открытые, острова.

Следует отметить, что если с определением географической широты дело обстояло относительно благополучно — известно, что высота Полярной звезды над горизонтом примерно равна широте места, то с определением долготы было гораздо сложнее. Правда, еще в XVI в. было известно, что если иметь точные часы, идущие по местному времени пункта отправления, и перенести эти часы в определяемый пункт без изменения их хода, то можно, наблюдая Солнце и определив из наблюдений момент местного полдня, определить разность моментов показаний часов в пунктах отправления и прибытия, т. е. разность их долгот. Однако часы с маятником, регулирующим их ход, были изобретены лишь в 1656 г.

Применение маятника как прибора для измерения времени было известно и ранее. Еще Галилей использовал маятник для этой цели, когда он определял скорость падающих тел. Но это были кратковременные измерения. Только Гюйгенс соединил маятник с часами, которые приводились в движение гириями; при этом маятник регулировал ход часов, а механизм часов поддерживал колебания маятника.

Одним из первых француз Пикар понял значение таких часов для астрономических наблюдений: замечая разницу во времени по точно идущим часам и наблюдая моменты прохождения звезд через меридиан, легко получить разность их прямых восхождений. Но такие часы нельзя было перевозить с места на место.

И пока для определения разности долгот пользовались наблюдениями Луны среди звезд и ее фаз — способом кропотливым и не дающим высокой точности, но требующим, однако, точного знания движения Луны и наличия соответствующих таблиц. Правительства разных стран поощряли поиски новой методики определения долгот. Король Испании Филипп назначил премию в 6000 золотых дукатов, а правительство Голландии в 30 000 флоринов. Назначали премии и другие страны. На получение этих премий претендовали многие, но простое и точное решение найти было не просто.

§ 5. Парижская обсерватория

И вот со второй половины XVII в. в Европе, в основном по инициативе выдающихся ученых, начали создаваться государственные астрономические обсерватории. Первой из них была обсерватория в Копенгагене. Строилась она с 1637 по 1656 г., но в 1728 г. сгорела.

По инициативе Ж. Пикара (1620—1682) французский король Людовик XIV, король «Солнце», любитель балов и войн, выделил средства для постройки Парижской обсерватории. Ее строительство было начато в 1667 г. и продолжалось до 1671 г. Получилось величественное здание, напоминающее замок, с наблюдательными площадками наверху (рис. 6). По предложению Пикара, на пост директора обсерватории был приглашен Жан Доменик Кассини (1625—1712), уже зарекомендовавший себя как опытный наблюдатель.

На Парижской обсерватории было выполнено много разнообразных астрономических наблюдений: были открыты четыре спутника Сатурна, темная линия в его кольце (так называемая «щель Кассини»); приглашенный для работы на Парижской обсерватории датский астроном Олаф Рёмер (1644—1710) доказал, по наблюдениям затмений спутников Юпитера, конечность скорости света и измерил ее значение.

Но не меньшую, а, возможно, большую известность Парижской обсерватории принесли разнообразные работы по определению точных положений звезд и по определению размеров земного шара. В 1669—1670 гг. по поручению Парижской академии наук Пикар измерил длину дуги меридиана между Парижем и Амьеном, определив, что 1° соответствует (в наших мерах) 111,21 км. Это всего на 0,03 км больше его современного значения.

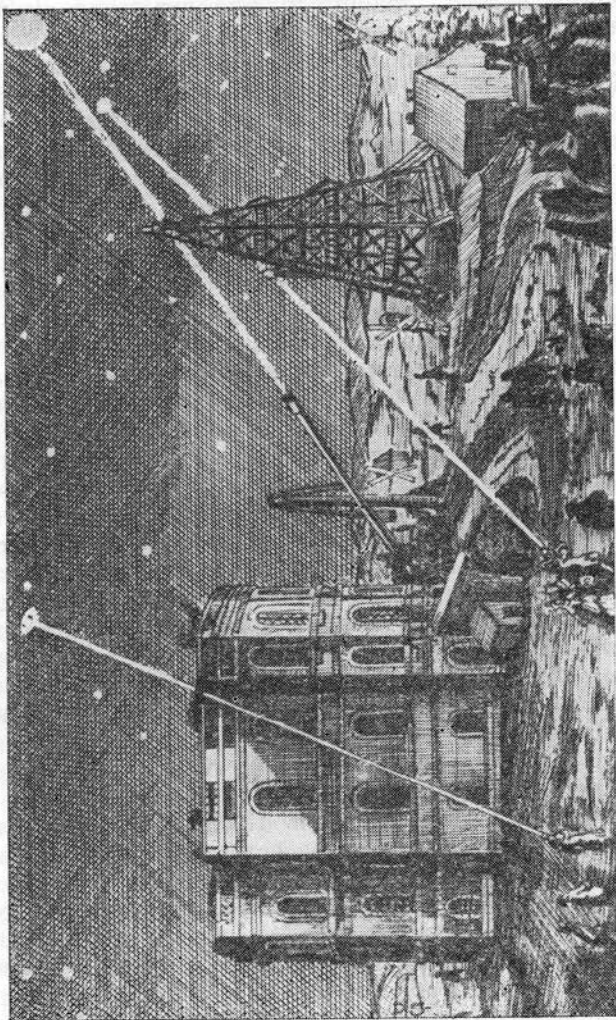


Рис. 6. Парижская обсерватория в XVII в.

Он же способствовал организации ряда экспедиций, доказавших путем наблюдения колебания маятника, что Земля — не шар, а слегка сплюснутый у полюсов сфероид.

При наблюдениях звезд на Парижской обсерватории стали использоваться измерительные инструменты, снабженные вместо обычных диоптров зрительными трубками. Точное наведение на звезду стало возможным благодаря применению креста нитей в фокальной плоскости окуляра, чем строго фиксировалась визирная линия телескопа. Для измерения небольших угловых расстояний начали применять нитяной измерительный микрометр. Все это позволило повысить точность определяемых координат звезд примерно на порядок по сравнению с наблюдениями Тихо Браге.

§ 6. Гринвичская обсерватория

Вскоре после описанных событий, в 1674 г., французский авантюрист по имени Сен-Пьер, действуя через фаворитку короля Карла II, француженку по происхождению, Луизу де Керуаль, которой за год до этого был пожалован титул герцогини Портсмутской, представил английскому королю Карлу II проект абсолютного определения долготы путем простых наблюдений высоты двух звезд и верхнего и нижнего краев диска Луны. Короля убедили передать проект на рассмотрение комиссии, в которую входили государственные деятели и известные ученые, а в качестве официального помощника — молодой астроном Дж. Флемстид (1646—1719).

Флемстид заявил комиссии, что, хотя метод Сен-Пьера теоретически пригоден, можно предложить более точные способы. Но главное заключалось в том, что таблицы движения Луны позволяли определить ее положение только с погрешностью до 10—15', а это может привести к погрешностям определения положения корабля до 50—100 км. Королевская комиссия обратилась с ходатайством о создании английской обсерватории с тем, чтобы путем астрономических наблюдений создать таблицы точных положений опорных звезд и движения Луны, для чего были нужны точные инструменты и долгие годы регулярных наблюдений. В результате Флемстид был назначен королевским астрономом, а о Сен-Пьере забыли. Был издан приказ о строительстве обсерватории на месте старого Гринвичского королевского замка.

Обсерватория начала действовать в 1676 г. в пригороде Лондона Гринвиче. Часть инструментов Флемстид приобрел на собственные средства, часть была подарена богатыми благотворителями. Флемстид внес в них ряд усовершенствований, а для определения времени использовал стенные часы с маятником (рис. 7).

Основной заслугой Флемстида явилось составление каталога примерно 3000 звезд, в котором их координаты

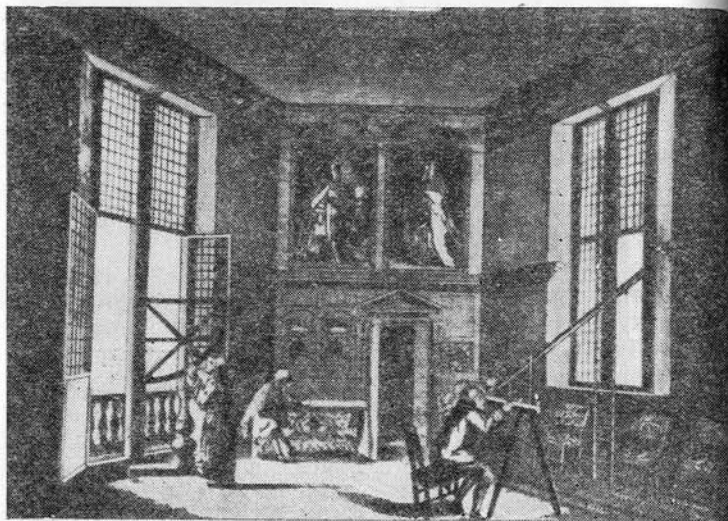


Рис. 7. Гринвичская обсерватория во времена Флемстида

даны с погрешностью, не превышающей $10''$. Он производил многочисленные наблюдения Луны, Солнца и планет, а также разработал методику точного определения положения точки весеннего равноденствия. Каталог Флемстида стал первым в ряду большого числа гринвичских каталогов, которые создаются вот уже почти 300 лет. Значение этого фундаментального вклада в астрономию подтверждено тем фактом, что меридиан, проходящий через Гринвичскую обсерваторию, принят за нулевой при счете долгот, а среднее солнечное время этого меридиана считается Всемирным временем.

В связи с большой освещенностью, создаваемой Лондоном, в 1954 г. Гринвичская обсерватория была перенесена в сельскую местность, на 70 км к юго-востоку от

Лондона. Административные службы и лаборатории размещены в старинном замке Херстмонсо, название которого и стало названием новой обсерватории. Помимо группы меридианных инструментов и инструментов Службы времени, обсерватория располагает четырьмя рефлекторами диаметром до 1 м, двумя рефракторами — астрографами и несколькими солнечными телескопами. В 1967 г. обсерватория Херстмонсо получила большой рефлектор с диаметром зеркала 2,5 м, носящий имя Исаака Ньютона. Этот рефлектор в течение десяти лет был самым крупным, если не считать телескопы США и СССР. Сейчас телескоп им. Исаака Ньютона перенесен на Канарские острова.

После создания Парижской и Гринвичской обсерваторий государственные обсерватории стали строиться во многих странах Европы. Одной из первых была построена прекрасно оснащенная обсерватория Петербургской академии наук (о ней будет рассказано ниже). Пример этих обсерваторий характерен тем, что наглядно показывает, насколько задачи обсерваторий и само их возникновение было обусловлено практическими потребностями общества. Наряду с этими серьезными научными учреждениями появлялись частные обсерватории, ставившие другие, более скромные задачи. Звездное небо было полно нераскрытых тайн, и оно постепенно раскрывало их терпеливым и внимательным наблюдателям. Происходил процесс познания окружающей Землю Вселенной.

Такие частные, иногда полулюбительские обсерватории возникали довольно часто. От наблюдателя-любителя не требовалось тонкое искусство измерителя; нужно было только внимательно и регулярно осматривать звездное небо. Это удавалось далеко не всем. Упомянем здесь лишь о трех астрономах, начинавших как любители, но ставших профессионалами, научные труды которых внесли важный вклад в астрономию. Каждый из них сделал новый шаг в глубины Вселенной.

Шарль Мессье (1730—1817), не имея специального образования, поступил переписчиком к астроному Ж. Деллилю, когда тот вернулся из Петербурга. Получив в свое распоряжение небольшой рефлектор, Мессье стал наблюдать небо в поисках комет. За 40 лет он открыл 14 комет. Его обсерватория находилась в башенке жилого дома в Париже. В ходе наблюдений он обнаружил 103 туманных объекта (68 из них были открыты им самим), которые можно было спутать с кометами. Во избежание

ошибок он составил и издал в 1781 г. каталог таких объектов. Это был первый каталог туманностей.

Вильям Гершель (1738—1822), по профессии музыкант, стал выдающимся астрономом-наблюдателем и оптиком. Гершель изготовил множество зеркал для телескопов (зеркала тогда изготовлялись из бронзы), сначала небольших, потом более крупных; в 1773 г. он построил гигантский рефлектор с диаметром зеркала $D = 122$ см и фокусным расстоянием около 12 м. Масса зеркала составляла около двух тонн. Основные наблюдения он выполнил главным образом с рефлекторами с диаметрами зеркала сначала в 30 см, а позже 47,5 см, и фокусным расстоянием $F \approx 6$ м. Его телескопы были установлены на азимутальной монтировке. Она была неудобней, наведение осуществлялось грубо, часового механизма не было. Звезды проходили с одного края поля зрения до другого, а наблюдатель следил за ними и оценивал их взаимное расстояние. Затем инструмент перемещался вручную, и звезды снова проходили поле зрения. Однако Гершель мало интересовался координатами звезд, его больше интересовала картина строения Вселенной. В нашу задачу не входит описание научного наследия Гершеля. Обратим внимание лишь на то, что он, как оптик, сделал новый шаг в телескопостроении. Как астроном за тридцать лет наблюдений, осматривая все «закоулки неба», он нашел много интересных объектов. Он обнаружил, что большинство туманностей из списка Мессье разрешалось на звезды (это были звездные скопления). За семь лет он сам отыскал две тысячи новых, более слабых туманностей.

Гершелю принадлежит открытие нового класса туманностей, названных им «планетарными», которые он выделил как «истинные» туманности. Он открыл и внес в списки более 800 двойных и кратных звезд, показав, что некоторые из них образуют физические системы.

В 1781 г. Гершель открыл планету Уран, в 1789 г. — два спутника Сатурна. Он установил сезонное изменение вида полярных шапок Марса; нашел объяснение вида полос на Юпитере наличием облачного слоя и т. д. В работе ему помогала сестра — Каролина Гершель (1750—1848), которая сама принимала участие в его наблюдениях, обрабатывала и оформляла его труды. Заслуги В. Гершеля были официально признаны: в 1781 г. он был избран членом Лондонского королевского общества, ему была назначена рента в 300 гиней. Каролина Гершель

также была избрана членом этого общества, но много позже — в 1835 г.

Однако главные научные интересы В. Гершеля лежали в области звездной астрономии. Он предложил, учитывая обширность полного исследования неба, выборочный метод изучения — «метод черпков». Пользуясь этим методом и применяя методы статистического осреднения, он вывел некоторые общие закономерности строения видимой звездной системы.

На своей домашней обсерватории в Слоу, близ Виндзорского дворца, он смог заглянуть в глубь небес так далеко, как еще никому не удавалось. Его работы в этой области, совместно с последующими работами В. Я. Струве, заложили основы звездной астрономии.

Еще более крупный, но столь же неуклюжий рефлектор построил в своем имении Бер Касль в Ирландии У. Парсонс, имевший титул лорда Росса (1800—1867). Его рефлектор имел диаметр (металлического) зеркала $D = 182$ см и фокусное расстояние $F = 15,6$ м. С его помощью Парсонс открыл многие детали строения туманностей, в том числе спиральную структуру некоторых из них, исследовал большую туманность в Орионе, наблюдал некоторые детали поверхностей планет.

Управление таким телескопом было крайне сложным. Он мог вести наблюдения только около меридиана. При наклонах телескопа зеркало прогибалось и изображение расплывалось. Хорошее изображение получалось только при нескольких определенных положениях трубы. Известный пулковский астроном О. В. Струве (1819—1905), впоследствии директор Пулковской обсерватории, дважды посетил Бер Касль в 1844 и 1850 гг. Он удивлялся «громадному скоплению света в фокусе» и тем деталям, которые можно было различить в туманностях, но отмечал, что отчетливость изображений оставляла желать лучшего. Он пришел к выводу, что для Пулковской обсерватории подобный инструмент имел бы только второстепенное значение.

§ 7. Петербургская астрономическая обсерватория

Освоение огромных пространств Сибири, Севера, морские путешествия поморов в XVI—XVIII вв., в которых наши предки проявили большую энергию и искусство, были бы невозможны без астрономических знаний. В 1690 г. в Холмогорах на Северной Двине, вблизи Ар-

хангельска, возникает первая в России астрономическая обсерватория, основанная А. А. Любимовым (архиепископом Холмогорским) для удовлетворения нужд мореплавания поморов.

Петр I, много сделавший для развития наук и искусства в России, интересовался и астрономией. Еще во время своего путешествия по Европе Петр посетил Гринвичскую и Копенгагенскую обсерватории. В «Истории неба» Флемстида сохранились записи о двух посещениях Петром Гринвичской обсерватории.

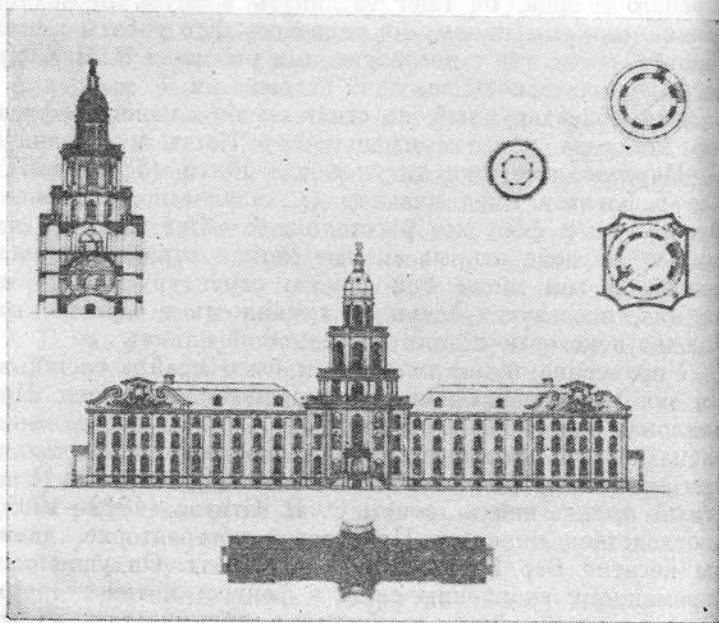


Рис. 8. Здание Петербургской Академии наук, в башне которого с 1725 г. размещалась астрономическая обсерватория

Возвратившись в Москву, Петр I учредил в 1701 г. в Сухаревской башне «математических и навигацких (т. е. мореходных) хитростных наук школу». Руководил ею военный деятель, астроном и картограф Яков Брюс (1670—1735). На одном из верхних этажей Сухаревской башни была устроена астрономическая обсерватория, а в навигацонной школе преподавалась астрономия. Позже, вышедши в отставку в 1726 г., Брюс построил у себя в имении частную обсерваторию, для которой сам изго-

товлял инструменты и на которой проводил наблюдения. В 1725 г. была построена Астрономическая обсерватория Петербургской Академии наук. Она размещалась в трех этажах башни здания Академии наук на Васильевском острове — сейчас это здание Кунсткамеры (рис. 8). Обсерватория была организована как важное научное учреждение Академии. Директором обсерватории был приглашен известный французский астроном Жозеф Николь Делиль (1688—1768). Обсерватория была снабжена большим числом самых современных по тому времени инструментов. Делиль вел систематические наблюдения. Много внимания уделялось экспедиционным работам: определению географических координат и составлению карт европейской части России и Сибири.

Огромную роль в поощрении географических исследований и в развитии астрономии в России сыграл М. В. Ломоносов (1711—1765). Он был ученым-энциклопедистом. Ему принадлежат труды по химии, геологии, металлургии, физике, филологии, поэзии и т. д. Он непосредственно наблюдал кометы, покрытия звезд Луною, прохождение Венеры по диску Солнца, результатом чего явилось открытие им атмосферы Венеры. В 1762 г. он разработал и построил телескоп-рефлектор оригинальной конструкции, названный впоследствии схемой Ломоносова — Гершеля. Для нашего изложения важно, что М. В. Ломоносов был инициатором многих географических экспедиций по картографированию территории России, иногда в самые отдаленные ее уголки.

Под руководством С. Я. Румовского (1734—1812), заведовавшего обсерваторией с 1763 по 1803 г., были организованы экспедиции в Сибирь: в Якутск, Орск, Оренбург, на север — в Поной, в Умбу и на Кольский полуостров, на юг — в Гурьев. Осуществлялись и другие географические экспедиции. Они послужили основой для составления первого в России «Каталога астрономических координат» 62 пунктов на территории нашей страны. Ошибка положения в них составляла около 8' или 32 секунд времени, что было превосходным результатом по сравнению с другими странами.

В начале XIX в. в России возникли другие обсерватории — морская в Николаеве, университетские в Казани, Вильно и Дерпте (ныне Тарту). В 1831 г. началось строительство Московской обсерватории. Серьезно встал вопрос о строительстве новой большой обсерватории. Такой обсерваторией стала Пулковская.

§ 8. Основание Пулковской обсерватории

К началу XIX в. стало ясно, что Петербургская обсерватория уже не в состоянии обеспечить требуемую точность и необходимый объем работ. Академической комиссией, в которую входил академик В. Я. Струве, был составлен план исследований, охватывающий широкий круг астрономических работ. В общем виде он гласил:

«Наблюдения разделяются на три класса:

1. астрономические наблюдения на обсерватории;
2. выездные наблюдения для развития географии (геодезические операции);
3. вспомогательные наблюдения в более или менее прямой зависимости от астрономических или геодезических наблюдений».

Обсерватория строилась по замыслам ее основателя и первого директора В. Я. Струве (1793—1864), астронома и геодезиста, академика Петербургской Академии наук с 1832 г., ранее возглавлявшего астрономическую обсерваторию в Дерпте (бывший Юрьев, ныне Тарту ЭССР). Заслуга В. Я. Струве заключается в том, что он смог предвидеть развитие астрономии, выбрать или сконструировать такие инструменты, подобрать таких сотрудников и так организовать наблюдения, что Пулковская обсерватория уже через 30 лет после своего основания приобрела славу «Астрономической столицы мира».

Место для обсерватории было выбрано в 19 км к югу от центра Петербурга, на Пулковских высотах (75 м над уровнем моря). И хотя не очень удачное расположение обсерватории (близость большого города, летние белые ночи) было ясно уже ее основателям, было признано, что Пулковские высоты есть наиболее удобное место в округе.

Здание обсерватории было построено по проекту архитектора А. П. Брюлова (1798—1877), брата известного художника Карла Брюлова. Архитектура здания оказалась функционально целесообразной (рис. 9). Она подчеркивала астрономическое назначение строения. Здание обсерватории — а его современный вид не сильно отличается от задуманного строителями — ориентировано с востока на запад, главным фасадом на север, к городу. Оно состоит из трех башен с куполами, в которых размещены телескопы. (Куполов при постройке не было, они появились уже после реконструкции обсерватории. Первоначально это были цилиндрические башни с вертикальными люками для наблюдений.) Основные инструменты

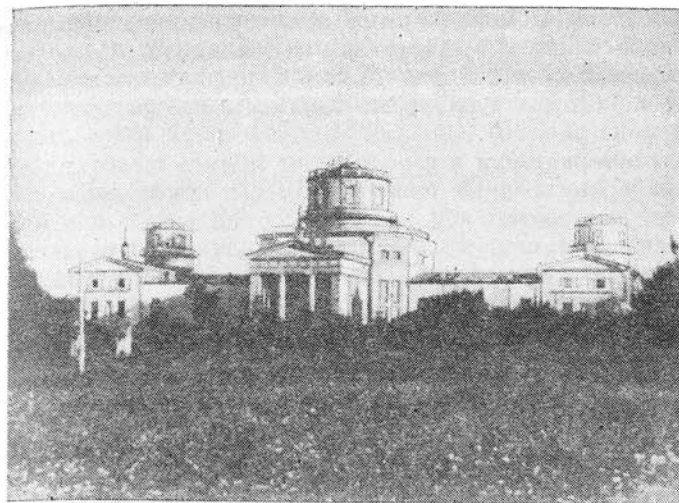


Рис. 9. Первоначальный вид Пулковской обсерватории. Северный фасад



Рис. 10. Южный фасад Пулковской обсерватории

установлены в меридианных залах, соединяющих центральную башню с восточной и западной. С востока и запада к обсерватории пристроены двухэтажные флигели, в которых находились жилые и лабораторные помещения (рис. 10).

От обсерватории к городу ведет прямое шоссе, переходящее в Московский проспект. Шоссе ориентировано по центру обсерватории и ведет строго на север: оно является как бы вещественным воплощением Пулковского меридиана. Обсерватория была расположена в тенистом парке: деревья затеняли здания и создавали улучшенный микроастроклимат.

По замыслам ее создателей Пулковская обсерватория должна была быть оборудована самыми точными и самыми крупными телескопами. Главную задачу обсерватории В. Я. Струве видел в создании абсолютных каталогов звездных положений и в звездно-астрономических наблюдениях. Это тонкие, трудоемкие наблюдения, требующие своего рода искусства. Все инструменты устанавливались на массивных, устойчивых фундаментах, обеспечивающих надежную установку приборов (рис. 11). При этом фундаменты главного инструмента, вспомогательных приборов и стен здания не соприкасались друг с другом, чтобы резкие движения и толчки не передавались на соседние установки.

В. Я. Струве разделил задачу. Определение абсолютных прямых восхождений он стал выполнять на большом пассажном инструменте; определение абсолютных склонений — на новом инструменте — вертикальном круге; определение относительных прямых восхождений, когда координаты звезд определяются как разность между положениями определяемой звезды и звезды, координаты которой известны, — на меридианном круге. Для определения постоянных aberrации и нутации предназначался пассажный инструмент в первом вертикале. Для звездно-астрономических наблюдений и измерений двойных звезд был заказан рефрактор с объективом $D = 38$ см и $F = 6,9$ м, лучший в мире по качеству оптики и крупнейший по своим размерам. Были заказаны шесть телескопов меньшего размера, пять астрономических часов и другое вспомогательное оборудование.

Рациональная конструкция и четко заданное назначение, предусмотренные В. Я. Струве, составляют характерную особенность астрономических инструментов Пулковской обсерватории. Они полностью себя оправдали и

способствовали выдвижению Пулковской обсерватории на первое место среди других обсерваторий. В результате работы нескольких поколений пулковских астрономов были созданы знаменитые пулковские каталоги фундаментальных звезд 1845, 1865, 1885, 1905, 1930 и 1955 гг.,

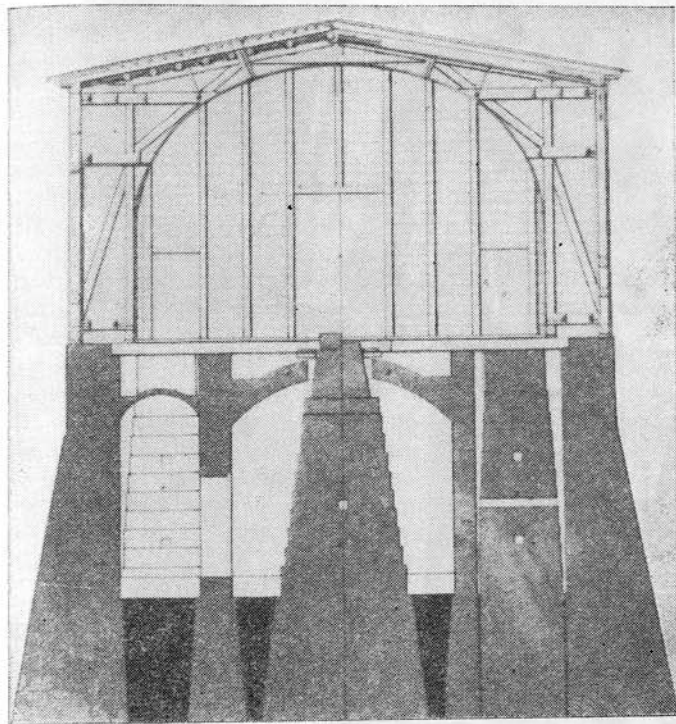


Рис. 11. Фундаменты Пулковской обсерватории. Для придания большей устойчивости астрономические инструменты устанавливаются на массивных каменных столбах, не связанных с фундаментом здания обсерватории

содержащие сначала 374, а позже 558 звезд, положения которых были определены с высочайшей точностью. Эти каталоги легли в основу всех последующих фундаментальных каталогов, причем всегда с наибольшим весом. Они оказались надежнее и точнее, чем каталоги Гринвича, Лейпцига или Лейдена.

Можно привести такой исключительный пример: два инструмента Пулковской обсерватории — большой пас-

сажный инструмент и большой вертикальный круг, разумеется, модернизированные и снабженные современными приемниками излучения и микрометрами, — работают

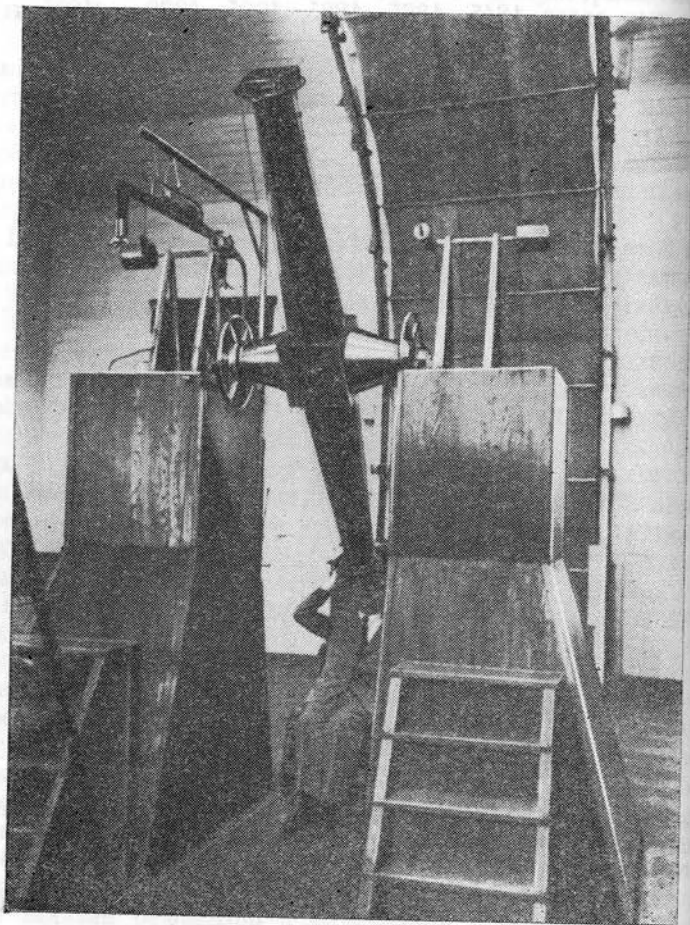


Рис. 12. Большой пассажный инструмент Пулковской обсерватории. Современный вид

и сегодня, и по точности не уступают аналогичным современным инструментам! Более 140 лет непрерывной успешной работы — срок исключительный для «жизни» технического прибора, инструмента или машины (рис. 12).

Кроме каталогов, пулковские астрономы опубликовали результаты большого числа разнообразных исследований исключительно высокой точности. Парк пулковских инструментов непрерывно пополнялся и совершенствовался. Пулковские астрономы ревниво следили за появлением всех новинок астрономического приборостроения, и если где-либо появлялся новый тип инструмента, в Пулкове старались получить такой же или лучший. Правда, гигантские левнафаны-рефлекторы вроде тех, которые были у Гершеля или у лорда Росса, не вызывали у них интереса — поскольку с их помощью невозможно было выполнять измерения с большой точностью. Но как только появилось новое поколение рефракторов, в Пулкове сразу же заказали самый крупный в мире, 30-дюймовый (76-сантиметровый) рефрактор, который был установлен в 1885 г. В 1893 г. обсерватория получила «нормальный астрограф», открывший эпоху точных фотографических наблюдений ($D = 33$ см, $F = 345$ см).

В годы Советской власти обсерватория получила большой солнечный спектрограф системы Литтрова (в 1924 г.), несколькими годами позже — широкоугольный зонный астрограф, с которым был составлен фотографический каталог северных звезд до 11-й звездной величины в зоне от $+70^\circ$ склонения до северного полюса. Успешно развивались филиалы Пулковской обсерватории на юге нашей страны в Николаеве и в Симеизе.

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ИНСТРУМЕНТЫ

§ 9. Основные характеристики телескопа

Телескоп — основной рабочий инструмент астрономов. Изучать далекие небесные объекты можно пока только одним способом — собрав и проанализировав приходящее от них электромагнитное излучение. Именно для этой цели и служит телескоп. Он может собирать излучение в оптическом диапазоне — тогда это телескоп в обычном, общепринятом смысле слова. Он может собирать радиоизлучение — тогда это радиотелескоп. Существуют телескопы, специализированные для работы в ультрафиолетовом и инфракрасном диапазонах, рентгеновские и гамма-телескопы. Каждый из них имеет свои, характерные особенности. Здесь же речь пойдет главным образом о классических, оптических телескопах.

Если телескоп предназначен для определения направления пришедшего электромагнитного излучения — это инструмент позиционной астрономии или астрометрии. Если же он предназначен для анализа состава или интенсивности этого излучения, он относится к астрофизическим приборам. Соответственно назначению и выбирается конструкция телескопа.

Обычно, говоря о телескопе, подразумевают его оптическую часть. Но чтобы оптика собрала излучение, необходимо направить телескоп в заданную точку неба, и нужно, чтобы он сохранял направление на наблюдаемый объект в течение всего времени наблюдения. Для этого нужна соответствующая механическая конструкция и механизмы быстрого и тонкого, как говорят астрономы, ведения. Конструкция должна быть жесткой, чтобы взаимное расположение оптических деталей не менялось, а движение — плавным и равномерным, чтобы изображение не дергалось в поле зрения. Такая механическая конструкция с механизмами движения называется монтировкой телескопа. Наконец, собранное излучение нужно принять и проанализировать; для этого служат приемники излучения. Кроме того, нужно принимать во внимание влияние атмосферы: по существу, атмосфера тоже является частью оптической системы.

Только все эти четыре элемента образуют телескоп. Все они должны быть одинаково высокого качества.

И если один из них плох, то и весь телескоп никуда не годится: изображения все равно будут плохими.

Какова бы ни была оптическая схема телескопа, она характеризуется несколькими основными параметрами. Первым из них идет диаметр входного отверстия D . Для линзовых телескопов это — диаметр свободного отверстия линз объектива; для зеркальных — диаметр главного зеркала телескопа. Чем больше D , тем больше излучения может собрать телескоп. Он и называется по диаметру входного отверстия. Так, большой астрограф Пулковской обсерватории называется «65-сантиметровый рефрактор» (это современный, старый был 76-сантиметровый). Главный инструмент Шемахинской обсерватории АН АзССР — 2-метровый рефлектор; на обсерватории Маунт Паломар (США) — 5-метровый рефлектор; крупнейший в мире — советский 6-метровый телескоп БТА.

Параллельный пучок лучей, идущий от звезды (расстояния до звезд столь велики по сравнению с размерами человека и его инструментов, что их можно считать бесконечно большими, а пучок лучей, идущий от них, параллельным), попав на главное зеркало телескопа, собирается в точку, называемую главным фокусом и обозначаемую f . Расстояние F от вершины главного зеркала до точки f есть фокусное расстояние главного зеркала. Если в телескопе имеются дополнительные оптические элементы — вторичные зеркала или линзы, то говорят об эквивалентном фокусном расстоянии F' оптической системы, т. е. о таком фокусном расстоянии, каким оно было бы, если бы главное зеркало собирало падающие на него лучи под тем же углом, под каким они фактически собираются всеми оптическими элементами совместно. Вся совокупность оптических элементов телескопа образует объектив астрономического инструмента.

Ни одна оптическая система не является идеальной. Реальная оптическая система вносит в изображение те или иные искажения. В общем виде они называются aberrациями оптической системы. На оптической оси aberrации незначительны, но по мере удаления от нее они быстро увеличиваются. Размер рабочего поля телескопа называется его полем зрения и обозначается 2β .

Обычно поле зрения телескопа невелико. У большинства рефлекторов оно составляет от $12'$ до $20'$ в диаметре. Только у самых широкоугольных астрографов оно доходит до 6° . Правда, специализированные короткофо-

кусные камеры обладают более широким полем, но короткий фокус и некоторые другие недостатки делают такие камеры непригодными для большинства астрономических задач.

Отношение $A = D/F$ называется относительным отверстием телескопа. Иногда A называют светосилой телескопа. Это не точно. Под светосилой понимается количество освещенности, которую может создать телескоп в фокальной плоскости. Если отвлечься от потерь света в оптике, то светосила пропорциональна D^2/F^2 , т. е. A^2 . Это понятно, поскольку количество света, собираемое телескопом, пропорционально диаметру входного отверстия, т. е. D^2 , а распределяется оно по площади изображения, т. е. обратно пропорционально F^2 .

Потенциальные возможности телескопа характеризуются его проникающей силой, которая выражается блеском предельно слабого объекта, наблюдаемого на данном телескопе. Она зависит от диаметра объектива D , но также и от качества изготовления оптики, от спокойствия и прозрачности атмосферы, от того, насколько светлым является фон неба, от потерь света в оптике телескопа и тому подобных факторов, которые не всегда поддаются строгому учету. Поэтому проникающая сила может быть определена только приближенно. Она различна для точечных объектов (звезд) и для протяженных (различных туманностей).

Для протяженных объектов освещенность изображения пропорциональна светосиле $A^2 = D^2/F^2$, и чем светосильнее телескоп, тем более слабые туманности могут быть ему доступны. Для наблюдения слабых туманностей используются наиболее светосильные телескопы с $A = 1:2$; $1:1,5$ и даже $1:1$.

Для звезд, дающих в идеале точечные изображения, площадь изображения не играет роли, и проникающая сила в этом случае выражается той предельной звездной величиной m_0 , которая может быть получена на этом телескопе. При фотографических наблюдениях она может быть оценена по формуле:

$$m_0 = -1 + 5 \lg D + 2,15 \lg t.$$

Здесь t — наибольшая продолжительность экспозиции в минутах, D — диаметр входного отверстия телескопа в сантиметрах. Величина t , в свою очередь, определяется фоном неба и зависит от относительного отверстия A и

от свойств фотозмульсии. Приближенно она равна

$$\lg t = 0,6 - 2,325 \lg A.$$

Из этой формулы следует, что при $A = 1:1$ пластинка становится темной от засветки неба уже при выдержке в 4 минуты. При $A = 1:3,5$ предельная выдержка составляет около часа, а при $A = 1:10$ уже около 14 часов, т. е. дольше, чем длится ночь наблюдений.

При увеличении D возрастает не только предельная звездная величина: с ростом D улучшается и разрешающая сила телескопа, т. е. способность разделять две близкие, почти сливающиеся звезды. Существует несколько критериев оценки разрешающей способности. Приведем ее оценку по Рэлею:

$$\psi'' = \left(\frac{14}{D} \right)''.$$

Здесь ψ'' — угол, при котором звезды уже различаются как разные. D по-прежнему выражено в сантиметрах.

§ 10. Рефракторы, рефлекторы и зеркально-линзовые телескопы

По своей оптической конструкции телескопы разделяются на рефракторы, оптическая система которых состоит только из линз, рефлекторы, включающие только зеркальные оптические элементы, и смешанные зеркально-линзовые системы, иначе называемые катадиоптрическими телескопами. Выбор той или иной оптической конструкции зависит от задач, стоящих перед наблюдателем.

В прошлом веке, на протяжении многих десятилетий, рефракторы обладали значительными преимуществами. Недаром Пулковская обсерватория приобрела сначала 38-сантиметровый, а затем 76-сантиметровый рефракторы. Они создавали лучшее изображение, обладали более широким полем и, что важно, качество изображений не зависело от направления трубы телескопа (см. выше о рефлекторах В. Гершеля и У. Парсонса).

Но уже в конце прошлого века рефракторы достигли предела своих возможностей. Выяснилось, что нельзя создать линзовый объектив диаметром более метра. Самый крупный рефрактор, двухлинзовый объектив которого имеет $D = 102$ см, $F = 19,0$ м и $A = 1:19$, установлен на Йеркской обсерватории (США) в 1897 г. Лин-

зовые объективы дороже зеркальных (приходится шлифовать четыре или более поверхностей линз вместо одной у зеркала), трудны в изготовлении — к свойствам стеклянной массы предъявляются более высокие требования: она должна быть однородна, идеально прозрачна и иметь заданный показатель преломления, что не обязательно для зеркала. Линза крепится в оправе только по своему периметру, поэтому большие линзы при наклоне телескопа начинают прогибаться под собственным весом, что приводит к увеличению аберраций. И сейчас уже не строят рефракторов с объективами, диаметр которых был бы больше 65 см (рис. 13).

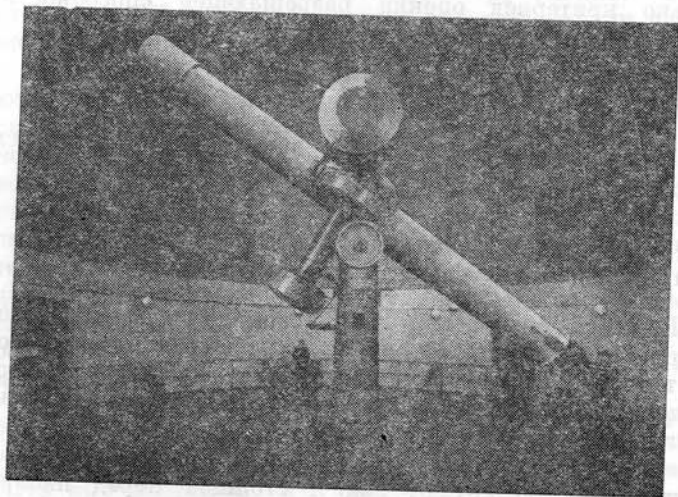


Рис. 13. Большой длиннофокусный рефрактор Пулковской обсерватории ($D = 650$ мм, $F = 10,5$ м)

Развитие астрофизики, со своей стороны, требует все более крупных телескопов, обладающих все большей проникающей силой. Уже на рубеже XIX и XX вв. появились крупные рефлекторы, 90-сантиметровый рефлектор Ликской и 1,5-метровый рефлектор обсерватории Маунт Вилсон, отвечающие современным требованиям. Их зеркала изготавливались из стекла, имели параболическую форму и относительное отверстие $A = 1:4$ или $1:5$. Несколько позже, в 1917 г., был построен 2,5-метровый рефлектор для обсерватории Маунт Вилсон. Всего

до 1940 г. было создано 12 рефлекторов с диаметром зеркала 1 м и более, в том числе в 1926 г. вступил

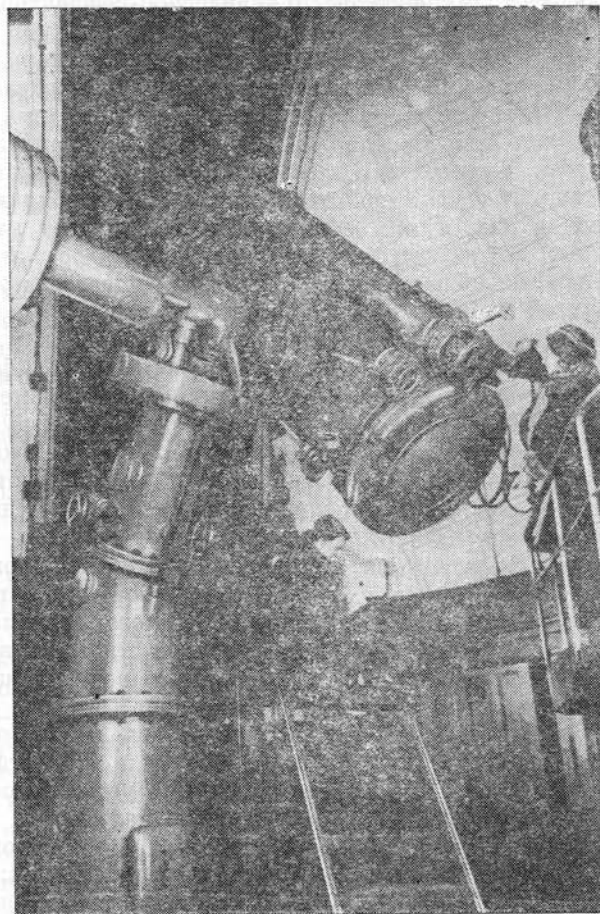


Рис. 14. 70-сантиметровый параболический рефлектор ГАИШ

в строй 1-метровый рефлектор в Симеизе, в Крыму. Рефлекторы (рис. 14) непрерывно совершенствуются и сегодня они почти полностью вытеснили рефракторы.

Оптические схемы телескопов показаны на рис. 15. Здесь *a* — телескоп-рефрактор. Его четырехлинзовый

объектив (1) собирает падающий на него параллельный пучок лучей в фокальной плоскости, где расположен приемник излучения (2), фотопластинка или визирная решетка фотоумножителя; б — телескоп-рефлектор, параболическое зеркало которого (3) собирает параллельный пучок лучей в главном фокусе (4); в — схема Кассегрена; в ней параллельный пучок лучей, отразившись от главного, собирающего зеркала (5), падает на вторичное выпуклое зеркало (6) и возвращается, проходя через отверстие (7) в центре главного зеркала и собирается за ним, в «фокусе Кассегрена», где размещается приемник излучения (8) — ФЭУ, ЭОП, камера спектрографа или фотопластинка; г — схема кудэ (от франц. *coudé* — излом, колено): сходящийся пучок лучей, отразившись от вторичного выпуклого зеркала (9) с помощью плоских зеркал (10 и 11) выводится из трубы телескопа обычно через полярную ось и собирается в фокусе кудэ (12), где неподвижно устанавливается приемник излучения (13), обычно камера спектрографа с высокой дисперсией; д — зеркально-линзовая система Шмидта: параллельный пучок лучей, пройдя через коррекционную пластину (14), отражается от главного зеркала (15) и собирается на искривленной фокальной поверхности (16), где размещена фотопластинка; е — менисковая система Максутова: параллельный пучок лучей, преломляясь мениском (17), слегка расширяясь, отражается от главного сферического зеркала (18), от

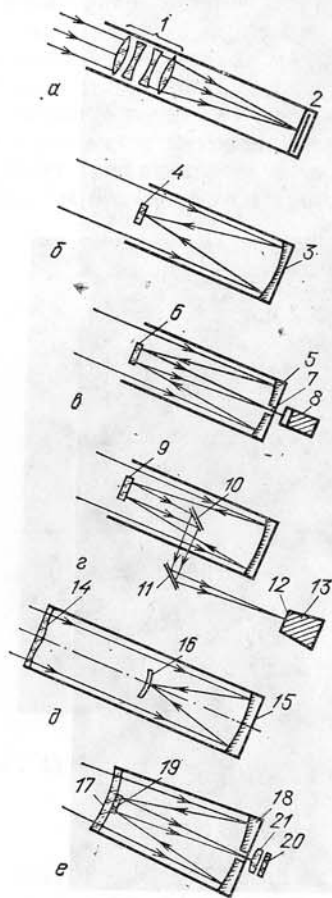


Рис. 15. Оптические схемы телескопов. Обозначения приведены в тексте

ка (15) и собирается на искривленной фокальной поверхности (16), где размещена фотопластинка; е — менисковая система Максутова: параллельный пучок лучей, преломляясь мениском (17), слегка расширяясь, отражается от главного сферического зеркала (18), от

вторичного выпуклого зеркала (19) и собирается в фокусе Кассегрена (20), где размещен приемник излучения самых различных вариантов, а перед ним находится поплесряющая коррекционная линза (21). Коррекционная линза Шмидта, как и мениск в схеме Максутова, предназначены для исправлений aberrаций главного зеркала и, тем самым, для расширения поля зрения.

На рисунке показаны основные схемы телескопов, но существуют и другие. О некоторых из них будет рассказано дальше. Развитием схемы Кассегрена является схема Ричи — Кретьена. На чертеже она выглядит совершенно как схема Кассегрена, но в ней и главное, и вторичное зеркала имеют сложную форму, как правило, гиперболическую. Благодаря такой усложненной форме существенно уменьшаются ошибки оптической системы и расширяется поле хороших изображений: оно достигает в диаметре $2\beta = 1^\circ$.

Наряду с преимуществами рефлекторы обладают и определенными недостатками. У рефлекторов с параболическими зеркалами очень малое поле зрения, всего несколько угловых минут. Для расширения поля зрения используются линзы, компенсирующие aberrации главного зеркала. О линзовом корректоре Шмидта и мениске Максутова уже говорилось. Но компенсаторы aberrаций могут быть выполнены и в виде одной или нескольких линз, установленных непосредственно перед фокальной плоскостью. Такие линзы или системы линз называются линзовыми компенсаторами. Так, линзовые компенсаторы 6-метрового телескопа БТА позволяют увеличить поле зрения этого крупнейшего в мире телескопа до $12'$. Да и зеркально-линзовые телескопы Шмидта и менисковые телескопы Максутова также не пренебрегают линзовыми компенсаторами, хотя главный компенсирующий элемент — коррекционная пластина Шмидта или мениск Максутова размещаются перед главным зеркалом и имеют диаметр, сравнимый с диаметром зеркала.

Бернхард Шмидт (1879—1935) опубликовал в 1932 г. описание созданного им нового телескопа, в котором, в пучке параллельных лучей, падающих на главное зеркало, на расстоянии, равном удвоенному фокусному расстоянию, устанавливалась коррекционная линза сложной формы. Такая коррекционная линза устраняет практически все aberrации главного зеркала и позволяет создать светосильный, широкоугольный инструмент. Самый большой телескоп системы Шмидта установлен на

Таутенбургской обсерватории (ГДР). Он имеет диаметр коррекционной линзы $D_k = 137$ см, диаметр главного зеркала $D_s = 200$ см и фокусное расстояние $F = 4,2$ м, т. е. $A = 1:3$, при поле зрения $2\beta = 5^\circ$. Вторым по размерам является телескоп «Большой Шмидт», установленный на обсерватории Маунт Паломар, у которого $D_k = 122$ см, $D_s = 183$ см, $A = 1:2,5$ и поле зрения $2\beta = 6,6^\circ$. С этим последним инструментом был получен подробный атлас неба, называющийся Паломарским атласом и содержащий звезды до 21,1 звездной величины.

Некоторым недостатком систем Шмидта и Максутова является то, что фокальное поле у них не плоское, а имеет сферическую форму. Вследствие этого приходится либо изгибать фотопластинку, придавая ей сферическую форму, либо устанавливать перед пластинкой дополнительную коррекционную линзу, которая спрямляет поле, но ограничивает его размеры.

Известный советский оптик, член-корреспондент АН СССР Д. Д. Максутов (1896—1964) предложил для исправления аберраций главного зеркала, причем даже не параболического, а более простого, сферического, установить вблизи главного фокуса мениск — вогнуто-выпуклую линзу; радиусы кривизны ее поверхностей мало отличаются друг от друга. Менисковый телескоп характеризуется простотой изготовления оптики (поскольку все поверхности сферические) и более короткой трубой, по сравнению с аналогичной по параметрам системой Шмидта.

Менисковые телескопы Максутова установлены на нескольких обсерваториях нашей страны. Они изготовляются Ленинградским оптико-механическим объединением ЛОМО. Самый большой менисковый телескоп Максутова установлен на Абастуманской обсерватории. Он имеет $D_m = 70$ см, $D_s = 100$ см, $A = 1:3$ и поле зрения $2\beta = 4,5^\circ$. Близкий по размерам двухменисковый телескоп работал в Чилийской экспедиции Пулковской обсерватории.

Естественно возникает вопрос: что дает больше информации, что выгоднее строить — один большой телескоп или несколько телескопов меньшего размера? Считается, что стоимость телескопа возрастает пропорционально $D^{2,3}$. Следовательно, телескоп с $D = 3$ м примерно в 10 раз дороже метрового телескопа.

Приведем такой пример. Рефлектор с $D = 360$ см позволяет наблюдать объекты 22,8 звездной величины

при экспозиции 20 минут в пределах поля зрения диаметром 1° . Камера Шмидта с $D = 1$ м фотографирует звезды до 22,0^m за один час на поле $5,5^\circ$. Наложив фотографически несколько снимков друг на друга, можно выявить более тонкие детали и более слабые звезды, чем те, которые видны на отдельном снимке. Чтобы получить звезды до 22,8^m, нужно наложить друг на друга пять снимков, полученных с камерой Шмидта. А чтобы перекрыть площадь диаметром $5,5^\circ$ на 3,6-метровом рефлекторе, нужно получить 30 снимков с экспозицией 20 минут каждый, т. е. затратить 10 часов наблюдательного времени, или в два раза больше, чем при наблюдении с камерой Шмидта.

Однако следует помнить, что всегда есть задачи, достижимые только самым большим телескопам. И кроме того, при наблюдениях на больших инструментах могут быть использованы все те способы повышения эффективности, что и при наблюдениях на небольших телескопах. Так что потребность в больших телескопах не уменьшается.

§ 11. Монтровки телескопов

Доводилось ли вам смотреть на звезду в сильный бинокль? Если доводилось, то вы знаете, что звезда при этом не стоит на месте, а непрерывно дрожит. Как бы сильные и крепки ни были ваши руки, когда они держат бинокль у глаз, они всегда слегка подрагивают, и звезда описывает в поле зрения сложную ломаную линию. При рассматривании земных предметов это не так заметно, поскольку внимание наблюдателя поглощено смыслом открывающейся картины, а звезда — это точка, и точка эта непрерывно бежит по темному полю. Поэтому при наблюдениях звезд бинокль нужно устанавливать на каком-нибудь штативе.

Точно так же необходим штатив и телескопу. Естественно, здесь дело обстоит сложнее — ведь масса телескопа — сотни килограммов, а часто — многие тонны. Кроме того, такой штатив должен позволять наводить телескоп в самые разные точки неба. К тому же штатив должен обеспечивать соблюдение заданного направления телескопа с точностью до 1—2 мкм.

Далее, Земля помимо движения по орбите непрерывно вращается вокруг своей оси. Отражением этого вращения является суточное движение небесных светил по

небу. Штатив должен компенсировать вращение Земли, сохраняя направление телескопа в пространстве с точностью до сотых долей угловой секунды. В результате штатив телескопа имеет довольно сложную конструкцию и носит название монтировки телескопа. Она размещается на массивной чугунной колонне, включает две оси, соответствующие двум осям пространственных координат, и имеет механизм часового движения.

Конструктивное выполнение монтировки может быть самым различным, но все монтировки имеют ряд элементов одинакового назначения. Главным требованием к любой монтировке телескопа является соблюдение принципа центрировки массы. Движение телескопа должно осуществляться легко и с минимальным трением. Такое движение достигается, когда данную систему вращают относительно ее центра тяжести. Поэтому труба крепится к оси так, чтобы ее объективный и окулярный концы были уравновешены. Когда труба размещена на одном конце оси, то на другом конце оси помещается противовес. Масса подвижных частей — трубы, оси и противовеса, в свою очередь, уравновешена относительно общего центра вращения. И хотя при этом масса монтировки увеличивается почти в четыре раза по сравнению с массой трубы телескопа, но все движения инструмента существенно облегчаются, и для вращения многотонной машины достаточен небольшой синхронный мотор.

Наиболее простой является *азимутальная монтировка*, соответствующая азимутальной системе координат (рис. 16, а). Одна из ее осей вертикальна, а другая горизонтальна. На такой монтировке устанавливаются небольшие теодолиты и некоторые астрометрические инструменты. Эта монтировка неудобна тем, что для компенсации суточного вращения Земли нужно поворачивать трубу инструмента одновременно вокруг горизонтальной и вокруг вертикальной осей, причем с разной скоростью.

Чтобы устранить этот недостаток, применяется *параллактическая* (или *экваториальная*) монтировка (рис. 16, б), имеющая полярную ось и перпендикулярную ей ось склонений. Полярная ось параллельна оси вращения Земли, ось склонений ей перпендикулярна. Установив телескоп по оси склонений и наведя его на звезду, достаточно вращать инструмент только вокруг полярной оси часовым движением с постоянной скоростью, соответствующей скорости вращения Земли. По-

ложение телескопа относительно оси склонения в процессе наблюдения остается постоянным, и наблюдателю требуется только контролировать по положению звезды в поле зрения гида работу часового механизма — гидировать телескоп.

Для небольших телескопов чаще всего применяется параллактическая монтировка с прямой колонной. Эта

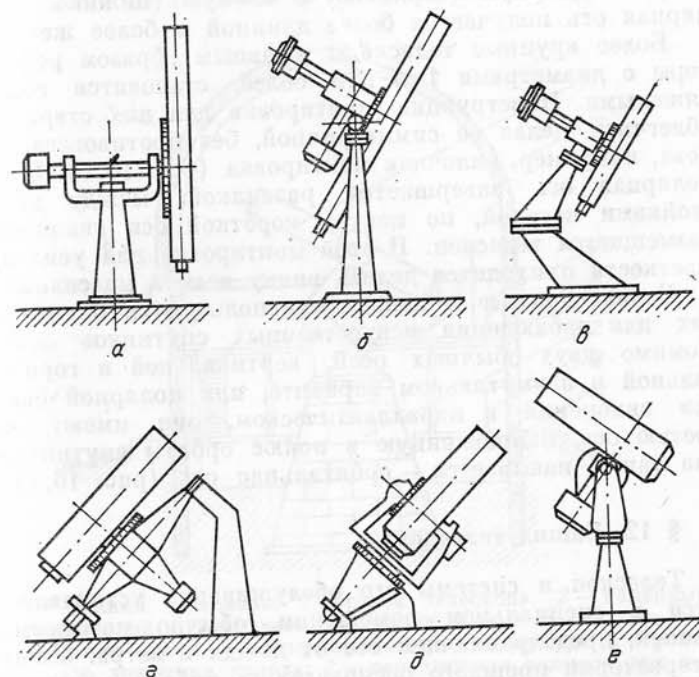


Рис. 16. Монтировки телескопов: а — азимутальная с вертикальной и горизонтальной осями; б — параллактическая (экваториальная) с полярной осью и осью склонений, немецкого типа с прямой колонной; в — параллактическая, немецкого типа с ломаной колонной; г — параллактическая, английского типа; д — параллактическая, вилочного типа; е — трехосная монтировка для спутниковых камер

монтировка обычно называется немецкой — в прошлом веке ее чаще использовали конструкторы немецких фирм. Но если труба телескопа длинная и колонну приходится делать высокой, то в некоторых положениях (это видно на рисунке) труба может задевать колонну, что делает невозможным наблюдения некоторых обла-

стей неба. В этом случае колонну делают наклонной, а ее верхнюю часть используют как втулку для полярной оси. Получается монтировка, называемая немецкой монтировкой с ломаной колонной (рис. 16, е).

Другим вариантом параллактической монтировки является так называемая английская монтировка (рис. 16, е), у которой полярная ось опирается на две опоры — северную (верхнюю) и южную (нижнюю). Полярная ось получается более длинной и более жесткой.

Более крупные телескопы, главным образом рефлекторы с диаметрами 1 м или более, становятся весьма тяжелыми. Конструкцию монтировки для них стараются облегчить, делая ее симметричной, без противовеса. Такова, например, вилочная монтировка (рис. 16, д). В ней полярная ось завершается развилкой, между двумя стойками которой, по центру короткой оси склонения, размещается телескоп. В этой монтировке для усиления жесткости приходится делать вилку весьма массивной.

Более сложные монтировки используются в телескопах для наблюдения искусственных спутников Земли. Помимо двух обычных осей, вертикальной и горизонтальной в азимутальном варианте, или полярной оси и оси склонений в параллактическом, они имеют еще третью ось, направленную в полюс орбиты спутника, — она так и называется — орбитальная ось (рис. 16, е).

§ 12. Башня телескопа

Телескоп и системы его обслуживания устанавливаются в специальном помещении, обычно называемом башней, предохраняющем его от дождя и ветра. Многие обсерватории прошлого располагались либо в небольших отдельных павильонах, либо просто в комнате, если она имела достаточно большое окно или открывающийся люк. Да и сегодня иногда для простоты прибегают к устройству таких легких павильонов для небольших инструментов.

Но постепенно стали ясными два неперемняемых условия: во-первых, телескоп должен быть установлен на устойчивом, солидном фундаменте и, во-вторых, температура в помещении, где установлен телескоп, должна быть равна температуре наружного воздуха, чтобы около телескопа не возникало воздушных потоков, вызывающих дрожание изображений наблюдаемых звезд. Таким образом, башня телескопа не отапливается и хорошо

вентилируется. Кроме того, инструмент должен иметь хороший обзор, ему должна быть доступна, по возможности, вся полусфера видимого неба. Горизонт должен быть открыт. Все эти условия и определяют внешний вид и устройство астрономической башни (рис. 17).

В центре башни расположен массивный столб — основание для телескопа. Столб заглублен в землю и покоится либо на скальном основании, либо опирается на

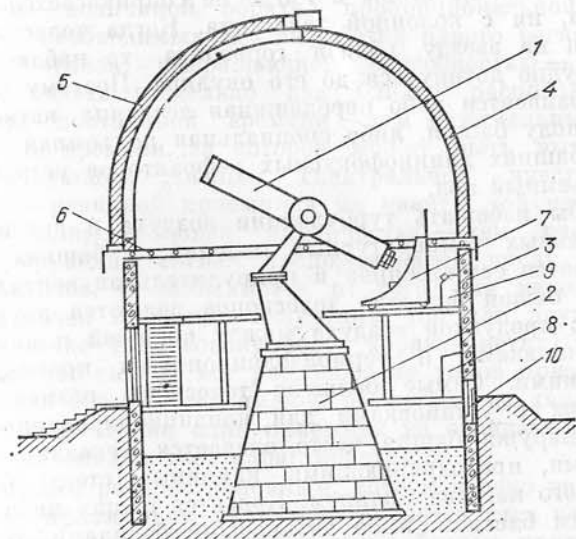


Рис. 17. Башня телескопа: 1 — труба телескопа; 2 — каменный столб, служащий фундаментом телескопа; 3 — стены башни; 4 — вращающийся купол; 5 — открывающийся люк купола; 6 — роликовый путь вращения купола; 7 — передвижная тележка для наблюдателя; 8 и 9 — устройства энергоснабжения и управления телескопом и куполом; 10 — вентиляционные каналы

материковый грунт. На нем устанавливается колонна или другая монтировка телескопа, поднятая с помощью столба настолько, чтобы телескоп имел свободный обзор по всем сторонам горизонта. Стены башни заглублены в землю на ту же глубину, что и столб под телескопом. Это делается для того, чтобы микросейсмические колебания или дрожание почвы от проезжающего транспорта экранировались стенами башни и не попадали на столб телескопа. Башни, как правило, строятся круглой формой. Именно такая, симметричная форма строе-

ния, лучше всего способствует однородному распределению температуры во всех частях башни. Какие-либо пристройки нежелательны. Внутри башни, на уровне, позволяющем телескопу смотреть в зенит, а наблюдателю — удобно подходить к окуляру телескопа, находится пол башни. По этому полу ходит наблюдатель; чтобы толчки, создаваемые его шагами, не передавались телескопу и не вызывали дрожания изображений, пол башни опирается на стены и нигде не соприкасается ни со столбом, ни с колонной телескопа. Когда телескоп направлен на звезду вблизи горизонта, то наблюдателю уже трудно дотянуться до его окуляра. Поэтому в башне устраивается либо передвижная лестница, катающаяся по полу башни, либо специальная подъемная тележка. В башнях длиннофокусных рефракторов устраивается подъемный пол.

Чтобы избежать турбулентции воздуха и других нежелательных температурных явлений, в башнях устанавливается естественная и принудительная вентиляция. Купола башен больших телескопов делаются двухслойными, с продувкой воздуха между внешней и внутренней обшивками и термозащитными прокладками между ними. Самые большие телескопы размещаются в башнях с установками для кондиционирования воздуха. Снаружи башня часто одевается металлическими жалюзи, предохраняющими каменные стены башни от прямого нагрева Солнцем. Красится башня либо алюминевым блеском, либо титановыми белилами, хорошо отражающими видимое и инфракрасное излучение. Однако наилучшим считается покрытие куполов зеркальным полированным алюминием.

И обязательно перед наблюдениями, заходя, открываются люки башни для проветривания. В небольших башнях для этого достаточно 40—60 минут, для более крупных — не менее двух часов. Башня же 6-метрового рефлектора БТА непрерывно продувается кондиционированным воздухом, температура которого равна температуре наружного воздуха.

§ 13. Приемники излучения

Задача телескопа — собрать падающее на него электромагнитное излучение. Собранное излучение надо зарегистрировать и проанализировать. Регистрация направления прошедшего излучения дает представление о его

положении, а его квантового состава — сведения о физической природе наблюдаемого объекта. Для этих целей разработаны разнообразные приемники излучения, преобразующие энергию собранного излучения в другие виды энергии, более удобные для практических измерений.

Каждый приемник излучения характеризуется: пороговой чувствительностью — тем минимальным потоком излучения, который может быть обнаружен; квантовым выходом — величиной, обратно пропорциональной числу квантов, необходимых для выработки одного регистрирующего сигнала; разрешающей способностью — способностью видеть раздельно два близко расположенных объекта; постоянной времени — тем минимальным промежутком времени, за которое может быть выработан регистрирующий сигнал; спектральной чувствительностью — реакцией приемника на кванты той или иной длины волны, наконец, линейностью — тем, насколько регистрирующий сигнал пропорционален числу падающих квантов. В зависимости от того, для какой цели предназначен приемник излучения, той или другой характеристике (или совокупности характеристик) отдается предпочтение. И все разнообразие типов приемников излучения объясняется именно различием их характеристик и тем, что ни один приемник не обладает наилучшими значениями всех характеристик сразу.

Наиболее распространенным, хотя и далеко не самым простым приемником излучения является *глаз человека*. Природная эволюция оптимальным образом приспособила зрение человека к максимуму энергии излучения Солнца. Глаз чувствителен к оптическому диапазону длин волн от $4040 \text{ \AA}$ (фиолетовый участок спектра) до $6800 \text{ \AA}$ (темно-красный). Максимум чувствительности глаза приходится на $5550 \text{ \AA}$, что совпадает с максимумом распределения энергии в спектре Солнца. Чтобы возникло зрительное ощущение, нужно, чтобы на данное место глазного дна попало примерно 33 кванта за $0,1 \text{ с}$. Иными словами, квантовый выход глаза составляет 3%, а временное разрешение $0,1 \text{ с}$. Разрешающая способность глаза $1 - 2'$. Но все это только в условиях оптимальной освещенности, а при малых яркостях и разрешающая сила глаза, и его контрастная чувствительность падают в десятки раз. Поэтому глаз — не очень надежен.

Наиболее распространенным приемником излучения является *фотографическая эмульсия*, используемая в ви-

де фотографических пластинок или фотопленки. Практика показывает, что из 10 квантов света, попавших на фотоэмульсию, только 1 попадает в центр светочувствительности, а чтобы образовалось зерно светочувствительности, нужно, чтобы в такой центр попало бы 10 квантов. В результате для образования одного центра светочувствительности требуется примерно 100 квантов: квантовый выход обычных сортов фотоэмульсии равен 1%, у лучших сортов — до 4%.

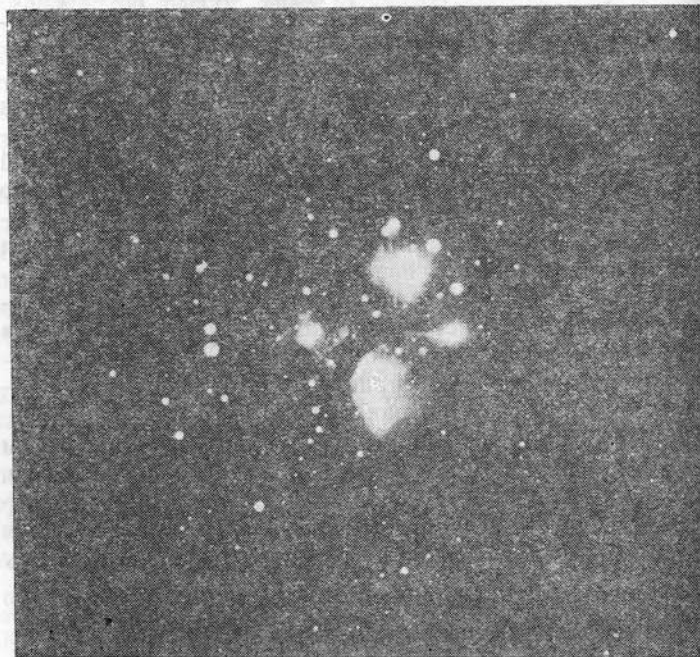


Рис. 18. Фрагмент снимка звездного неба: скопление Плеяд и окружающая его звезды туманность

Зато фотопластинка обладает способностью регистрировать объекты по широкому полю зрения. Считается, что фотопластинка размером 30×30 см содержит примерно $2 \cdot 10^8$ зерен светочувствительности, т. е. как бы $2 \cdot 10^8$ отдельных светоприемников, причем каждый такой приемник регистрирует не только положение, но и градацию блеска объекта. Поэтому фотоэмульсия явля-

ется в наше время наиболее информативным приемником излучения. Вдобавок фотослой обладает способностью суммировать падающий на нее световой поток, а после проявления сохраняет его неограниченное время. Неудивительно, что в настоящее время около половины всех астрономических наблюдений выполняется фотографическим методом.

И все же квантовый выход фотоэмульсий не удовлетворяет астрономов, и они ищут пути повышения чувствительности. Для этого все шире используются методы повышения чувствительности непосредственно перед наблюдением путем гиперсенсibilизации, которая достигается либо путем прогрева фотопластинок в течение 10—16 часов при температуре $+50$ — $+60^\circ\text{C}$, либо путем обдувания пластинок азотом, кислородом или водородом. Такая гиперсенсibilизация для некоторых сортов фотопластинок дает повышение светочувствительности в 4—6 раз, а для других не дает ничего. Кроме того, пластинки после гиперсенсibilизации нельзя долго хранить — они быстро вуализуются.

Фотографические снимки неба удобны еще и тем, что их легко хранить. На старых обсерваториях, таких как Пулковская, Московская, Абастуманская, Ташкентская, и на ряде других созданы «стеклянные библиотеки», собранные за много десятилетий наблюдений. Они содержат десятки тысяч негативов. Значение таких хранилищ информации трудно переоценить.

Фотоэлектрические приемники излучения основаны на фотоэффекте, состоящем в том, что при падении фотонов на полупроводниковый катод из последнего выделяются электроны, которые могут быть ускорены и сфокусированы электромагнитным полем и улавливаются положительно заряженным электродом. При этом возникает фототок, пропорциональный количеству падающего света. Фотоэлектрические приемники излучения весьма разнообразны по конструкции. Это и фотоэлементы, и фотоумножители (ФЭУ), и фотосопротивления, фотодиоды, и электронно-оптические преобразователи (ЭОПы). Наибольшее распространение получили ФЭУ и ЭОПы.

При попадании на ФЭУ примерно 2—10 квантов света образуется один фотоэлектрон, который может быть ускорен, превращен в поток электронов и зарегистрирован тем способом, который выберет наблюдатель — фотографически или в памяти ЭВМ.

Поступающие на катод ЭОП кванты света выбивают фотоэлектроны, которые фокусируются магнитным или электростатическим полем и поступают на экран

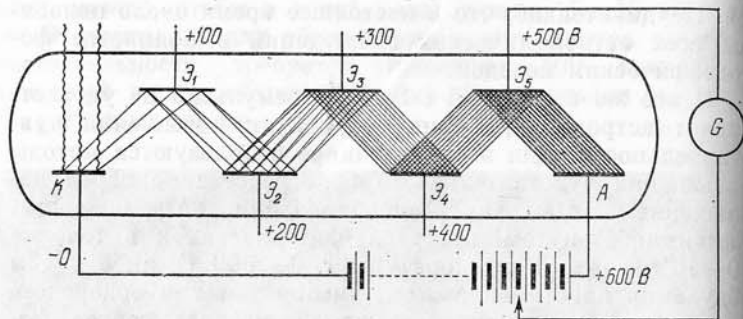


Рис. 19. Схема многокаскадного фотоумножителя: К — фотокатод; Э₁, ..., Э₅ — последовательно расположенные эмиттеры; А — анод. Количество электронов, попадающих на анод, в 10^6 – 10^9 раз больше числа электронов, выделенных катодом ФЭУ

ЭОПа с большим усилением (порядка 10^4 – 10^7), образуя усиленное изображение наблюдаемого объекта. Размеры экрана хороших ЭОПов имеют диаметры около 40 мм и разрешающую способность порядка 40 линий на мм.

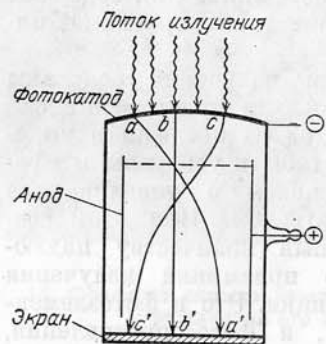


Рис. 20. Схема электронно-оптического преобразователя (ЭОПа)

Хорошие результаты дает сочетание ЭОПов с дополнительной регистрирующей аппаратурой типа телевизионной, или с выходом на ЭВМ. Преобразованное телевизионным приемником, изображение может быть разложено на строки и на элементы изображения, которые затем вводятся в память ЭВМ.

В последнее время в практику астрономических наблюдений все шире входят твердотельные фотоприемники, основанные на выявлении внутреннего фотоэффекта (в отличие от внешнего фотоэффекта фотоумножителей). В них используется трехслойная структура металла — окисел — полупроводник (МОП). В качестве последнего служит

кремниевая кристаллическая пластина. Если к такой трехслойной пластинке приложить «обратную» разность потенциалов (на подложке — плюс, на металле — минус), то возникает МОП-конденсатор, емкость которого зависит от свойств полупроводника и величины приложенного напряжения. МОП-конденсатор как бы запоминает приложенный к пластине заряд. Если осветить кремниевую подложку, то между окислом и подложкой образуется так называемая «потенциальная яма», в которой накапливаются фотоиндуцированные носители, меняющие первоначальный заряд МОП. Измеряя заряд, можно получить представление о величине излучения. Из отдельных МОП-элементов складывается матрица. Отдельные элементы — фотодиоды — имеют размеры 25×25 мкм, складывающиеся в матрицу размером 20×16 мм, которая содержит более 100 000 ячеек. Для усиления зарегистрированного сигнала используется способ накопления заряда при продолжительности времени накопления от 0,001 с до нескольких часов. Для определения величины заряда в каждом фотодиоде используется система считывания, управляемая внешними электрическими импульсами и запоминающая результат по каждой ячейке в памяти ЭВМ.

Приемники излучения, основанные на подобном принципе, могут опрашиваться различными способами, и в зависимости от способа считывания они разделяются: на приборы с зарядовой инжекцией (ПЗИ), в которой с каждой ячейки снимается напряжение, и при этом во внешней цепи возникает импульс тока, пропорциональный накопленному заряду; на приборы с зарядовой связью (ПЗС), в которых считывающее устройство передает на выход заряд ячеек, сам заряд при этом разрушается; наконец, это — ретиконы — фотодиодные матрицы, в которых на каждый элемент подается обратное смещающее напряжение.

Технология изготовления твердотельных приемников, в особенности ПЗС-матриц, получила широкое развитие, сочетающееся с развитием вычислительной техники и ЭВМ. Без электронно-вычислительной техники использование таких матричных приемников было бы просто невозможно.

Многоанодные микроканальные матричные приемники представляют собой набор тонких, диаметром 10–20 мкм и длиной 1–2 мм, стеклянных трубочек, собранных в общий пакет — микроканальную пластину диаметром

до 7 см, с металлизированными входными торцами — с входным катодом и выходным ускоряющим анодом, к которым приложено напряжение порядка 1—2 кВ. На внутреннюю поверхность трубочек наносится покрытие, повышающее вторичную электронную эмиссию. Кванты света выбивают на катоде фотоэлектроны, которые под действием электрического поля движутся к аноду, сталкиваясь со стенками и выбивая потоки вторичных электронов. Во избежание обратной связи трубочки делаются слегка изогнутыми в форме буквы С. Поток электронов на выходе попадает на отдельные элементы матричного счетчика, подключенного к считывающему устройству, которое передает результаты на запоминающее устройство ЭВМ или на какое-либо другое устройство записи или визуального контроля.

Коэффициент усиления многоканального матричного приемника может составлять 10^7 — 10^8 раз, а скорость счета до 100 000 отсчетов с одного квадратного миллиметра за секунду. Для избежания посторонних помех в каналах трубочек микроканальной пластины создается высокий вакуум.

Такие элементарные приемники излучения могут даже иметь преимущество перед фотографией, но только при регистрации не очень информативных изображений. Они хорошо работают в тех случаях, когда изучаются изображения, содержащие не более 1000 элементов. Это, главным образом, спектры. Но они существенно уступают фотографии при наблюдениях широких полей с большим числом звезд.

Тепловые приемники излучения поглощают падающее на них излучение и преобразуют его в тепло. К ним относятся болометры, электрическое сопротивление которых увеличивается при нагревании (чувствительность до 10^{-14} Вт); термоэлементы, в которых нагревание спая двух разнородных металлов приводит к возникновению электродвижущей силы (чувствительность до 10^{-10} Вт); тепловые радиометры, акустические или пневматические детекторы, чувствительность которых соответствует чувствительности лучших термоэлементов, но работающих в более длинноволновой области спектра. К тепловым приемникам излучения, применяемым в инфракрасной области спектра, относятся и жидкие кристаллы, которые при нагревании меняют свой цвет.

Телевизионный приемник состоит из передающей телевизионной трубки с усилителем изображения, напри-

мер, ЭОПом, установленным перед ней, в фокусе телескопа, видеоусилителей, блоков питания и регулировки, канала связи и приемной телевизионной трубки — кинескопа. Передающая трубка разлагает изображение на строки, а строки на элементы — видеосигналы, которые усиливаются видеоуслителем, передаются в лабораторию и либо с помощью развертывающего устройства образуют изображение на экране кинескопа, либо записываются на магнитную ленту, либо вводятся в счетное устройство ЭВМ.

Телевизионное устройство удобно тем, что на кинескопе происходит усиление освещенности в изображении по сравнению с яркостью изображения в фокусе телескопа в 10^5 — 10^8 раз. Телевизионный метод удобен для обзоров и обнаружения интересных объектов, но при определении взаимных положений и блеска наблюдаемых объектов он дает точность ниже обычно применяемых методов.

В астрономии применяются также *электронные камеры*, в которых фотоэлектроны воздействуют непосредственно на эмульсию фотопластинок — своего рода фотографические ЭОПы. Чувствительность при этом, по сравнению с прямой фотографией, возрастает примерно в 10 раз, но и фотокатод, и фотоэмульсия должны быть помещены в вакуум. Трудность здесь состоит в том, что фотоэмульсия до зарядки в камеру адсорбирует газы атмосферы и, помещенная в камеру, выделяет эти газы, нарушая вакуум и «отравляя» фотокатод.

Подробный рассказ о приемниках излучения можно найти в специальной литературе, например в учебниках по астрофизике. Здесь мы добавим только, что конструкции приемников достаточно разнообразны и быстро совершенствуются. Если телескопы как оптико-механические машины существуют несколько десятилетий (считается, что средний «срок жизни» телескопа 50 лет), то приемники излучения сменяют друг друга раз в 5 лет.

§ 14. Условия наблюдений. Астроклимат

Астрономам далеко не безразлично, в каких климатических условиях работает обсерватория. Прежде всего желательно, чтобы число ясных ночей было наибольшим, а число пасмурных — наименьшим. Для десяти мест нашей страны число метеорологических ясных дней $N_{\text{я}}$ и метеорологически пасмурных $N_{\text{п}}$ приведено в таблице,

заимствованной из книги П. В. Щеглова*). Конечно, если метеорологически пасмурной ночью, т. е. такой ночью, большая часть времени которой небо покрыто облаками, хотя бы на два часа станет ясно, астрономы используют это «окно» и наблюдают. Ночь становится астрономически ясной. Очевидно, что число астрономически ясных ночей существенно больше, чем число метеорологически ясных. Например, для Пулково и Москвы число астрономически ясных ночей составляет в среднем в год 70—90 ночей, а как следует из таблицы, число метеорологически ясных ночей $N_{\text{я}} = 32$ и 38 соответственно. Но все же приводимая ниже таблица дает представление

Пункты	$N_{\text{я}}$	$N_{\text{п}}$	Пункты	$N_{\text{я}}$	$N_{\text{п}}$
Пулково	32	177	Абастумани	85	98
Рига	30	162	Алма-Ата	88	96
Москва	38	165	Ташкент	142	90
Крым	73	93	Санглок	128	99
Шемаха	71	124	Хейрабад	144	80
Н. Архыз	78	108	Майданак	145	80
Бюракан	83	121			

о соотношении чисел $N_{\text{я}}$ в различных местах Советского Союза. Из таких сопоставлений стало ясно, что наибольшее число дней с ясным небом приходится на районы Средней Азии: Ташкент, гора Санглок в Таджикистане, Майданак в Узбекистане и Хейрабад в Туркмении. Условия в Крыму, Алма-Ате и в Закавказье менее благоприятны, но пригодны для астрономических наблюдений.

Но мало, чтобы небо было свободно от облаков. Нужно еще, чтобы оно было свободно от дымки, пыли, чтобы прозрачность была высокой, изображения звезд спокойны, засветка от фона неба небольшой. Вот совокупность всех этих и некоторых других факторов и составляет понятие астроклимата. И пусть, например, для Ташкента число метеорологически ясных дней почти максимально — 142, общая запыленность, низкая прозрачность и высокая освещенность делают это место непригодным для установки больших телескопов.

Для поиска мест с оптимальным астроклиматом снаряжаются специальные астрономические экспедиции. Установлено, что чаще всего наилучшими астроклиматическими условиями обладают одиночно стоящие вершины высотой 1000—2000 м, достаточно удаленные от больших городов и промышленных объектов, в местности с большим числом метеорологически ясных дней. В наши дни обсерватории уже не строятся вблизи больших городов. Их стремятся вынести в горы, в местности с оптимальным астроклиматом. В последние годы внимание астрономов привлекли условия астроклимата на Канарских и Гавайских островах, в Южном полушарии — в предгорьях Кордильер и в Чили. В Чили, в частности, построена Объединенная Европейская обсерватория (ESO).

В Советском Союзе к таким условиям приближаются горные районы Крыма, Кавказа, Средней Азии и Восточной Сибири. При исследовании астроклимата советские астрономы нашли три вершины с исключительно хорошими характеристиками астроклимата: Санглок, Майданак и Хейрабад. Две первые рекомендованы для строительства на них обсерваторий с большими телескопами.

*) Щеглов П. В. Проблемы оптической астрономии. — М.: Наука, 1980. — С. 157.

ТЕЛЕСКОПЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

§ 15. Инструменты позиционной астрономии

Первые приборы, с которыми работали астрономы, предназначались для изучения явлений суточного вращения небесной сферы, движения Солнца, Луны и планет, для определения координат звезд (как сейчас говорят, «для позиционных наблюдений»). Такие наблюдения выполнялись, в частности, астрономами Александрийского мусейона, где были созданы главные прототипы астрономических измерительных инструментов: большие, сделанные из камня или дерева — квадранты, параллактические линейки, армиллярные сферы, и маленькие, но более точные, сделанные из металла, такие, как астрилябии.

Именно с такими инструментами были составлены звездные каталоги — списки звезд — Гиппарха (123 г. до н. э.), Птолемея (138 г. н. э.), ас-Суфи (964 г.), таблицы Альфонса (1252 г.) и уже упоминавшиеся каталоги Улугбека (1475 г.). Благодаря подобным работам астрономы и получили другое название — звездочеты. Но кроме каталогов выполнялись и другие работы: Улугбек на своем гигантском квадранте измерил точное значение угла наклона экватора к эклиптике и уточнил продолжительность тропического года. Тихо Браге с помощью стенного квадранта и армиллярных сфер (см. рис. 2 и 3) уточнил значение прецессии и, наблюдая изменение положения Солнца, исправил положение точки весеннего равноденствия. Кстати, именно Тихо Браге достиг наилучшей точности наблюдений дотелескопического периода: $\pm 2'$, что находится на пределе разрешающей способности человеческого глаза.

Применение оптических систем для позиционных наблюдений привело к созданию принципиально новых инструментов — меридианных, с помощью которых можно вести наблюдения только в плоскости меридиана. Принципы таких инструментов разработал и применил Олаф Реммер, датский астроном, долгое время работавший на Парижской обсерватории. В 1689 г. он построил первый пассажный инструмент. Подобный инструмент показан на рис. 21. Идея этого инструмента заключается в том, что его единственная горизонтальная ось на-

правлена строго с запада на восток, а труба телескопа, перпендикулярная этой оси, вращается в плоскости меридиана. На рисунке видно, что дом Реммера построен косо по отношению к меридиану, поэтому левый конец (восточный) оси укреплен в проеме окна, а правый (западный) вынесен внутрь комнаты. По наклону трубы

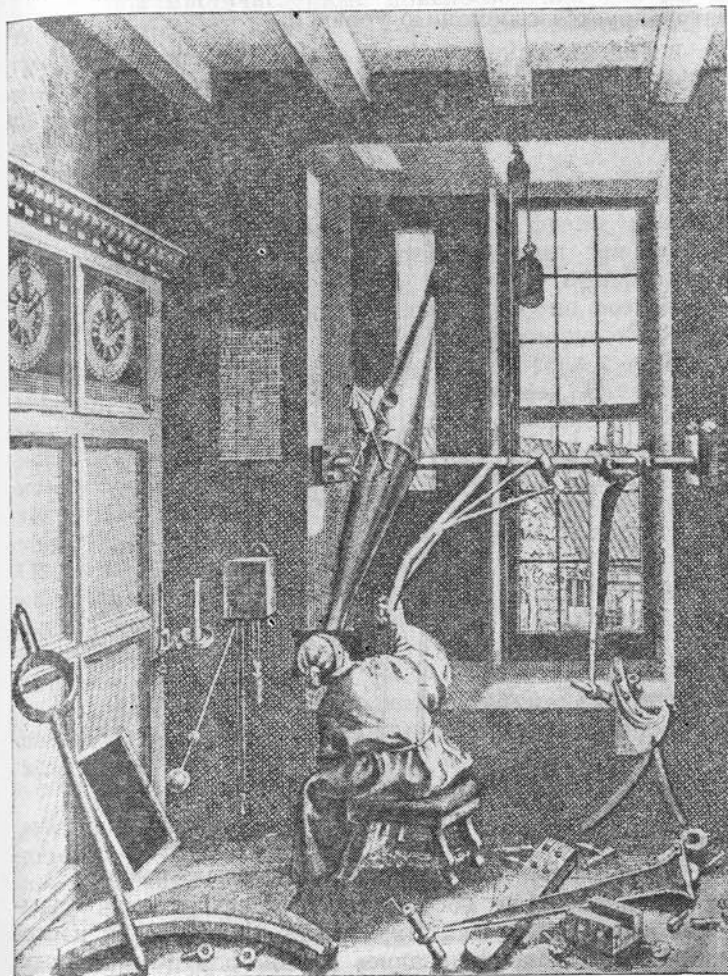


Рис. 21. Пассажный инструмент Реммера, построенный в 1689 г.

телескопа (он отсчитывается по дуге на подоконнике справа) можно определить высоту светила, которая в меридиане равна его склонению, а отсчет момента прохождения светила через меридиан по звездному времени (несколько разных часов для этого у Ремера видны слева от окна) позволяет определить другую координату — прямое восхождение. Наклон горизонтальной оси контролируется с помощью уровней.

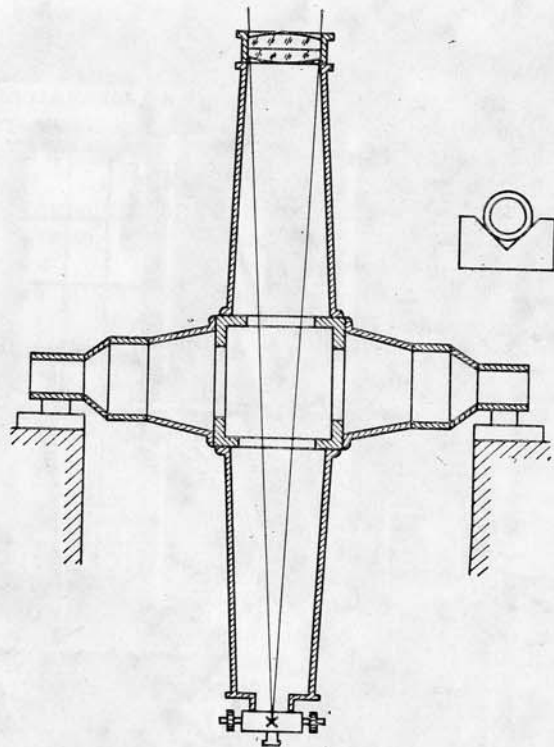


Рис. 22. Схема большого пассажного инструмента

Астрономические обсерватории, о которых рассказывалось выше, такие как Парижская, Гринвичская и особенно Пулковская, создавались именно для позиционных, астрометрических наблюдений.

В дальнейшем астрономические инструменты как бы разделились: инструменты для наблюдений стали в основном называть только телескопами, светоприемную

аппаратуру — приемниками излучения и т. п. И только за приборами позиционной астрономии сохранилось общее название «астрономические инструменты», да и то их чаще называют по типу конкретного инструмента.

У современных инструментов позиционной астрономии существенно возросла точность их изготовления; придуманы многочисленные приспособления для их юстировки; отсчеты кругов и уровней выполняются фотографически или с помощью электронных датчиков. Момент прохождения звезды через меридиан регистрируется с помощью фотоэлектрических микрометров. Однако основные конструктивные принципы этих инструментов сохранились до нашего времени.

В основу меридианных инструментов положена конструкция пассажного инструмента (от франц. *passage* — прохождение), показанная схематически на рис. 22: к центральному кубу сверху и снизу прикрепляются объективная и окулярная части трубы, по возможности одинаковые и равновесные. Перпендикулярно к трубе на кубе закрепляются две одинаковые полусоси с цилиндрическими цапфами на концах. На цапфы, опирающиеся на подставки — лагеры, ложится основная ответственность за точность вращения инструмента. Поэтому они изготавливаются из особо твердого металла и форма их тщательно контролируется: отклонение формы цапф от идеальной окружности не должно быть больше 1 мкм. Объектив, обычно двухлинзовый, собирает лучи в фокальной плоскости, где размещен окулярный микрометр, визуальный или фотоэлектрический. Так устроен, например, большой пассажный инструмент Пулковской обсерватории, показанный на рис. 12. С помощью такого пассажного инструмента, регистрируя момент прохождения звезды через меридиан, определяют ее прямое восхождение.

Пассажные инструменты меньших размеров используются для решения обратной задачи: по известным координатам звезды (взяв их, например, из звездного каталога) и наблюдая момент прохождения звезды через меридиан, определяют поправку своих часов. Окулярная часть трубы у таких «малых пассажных инструментов» отсутствует, ее заменяет массивный противовес, а внутри куба размещается призма, направляющая идущие от объектива лучи в полую ось инструмента, на конце которой установлен окулярный микрометр. На другом конце оси в случае необходимости устанавливается не-

большой телескоп-искатель для контроля наведения инструмента на звезду (см. рис. 24). Такие малые пассажные инструменты широко используются в работах служб времени.

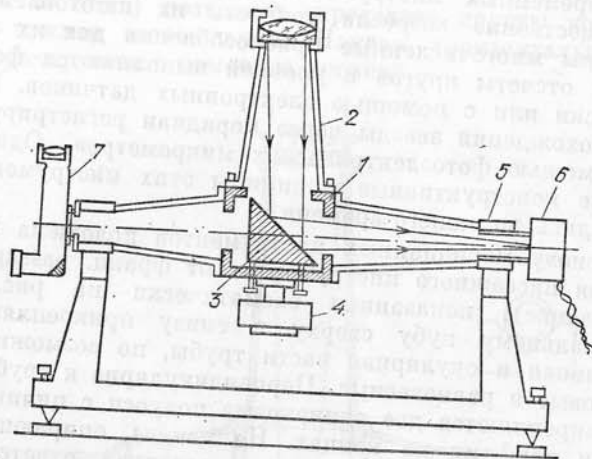


Рис. 23. Схема малого пассажного инструмента: 1 — центральный куб; 2 — верхняя часть трубы с объективом; 3 — диагональная призма; 4 — противовес; 5 — цапфы горизонтальной оси; 6 — блок фотоумножителей; 7 — искатель для наведения инструмента на звезду

Меридианный круг отличается от пассажного инструмента тем, что на горизонтальную ось по обе стороны от куба надеты один или два точно разделенных круга. Для отсчета кругов на опорных столбах установлены барабаны с микроскоп-микрометрами, с помощью которых фиксируют наклон трубы инструмента и тем самым высоту светила над горизонтом. С помощью меридианного круга можно определять как прямое восхождение, так и склонение звезд.

Вертикальный круг (рис. 25) предназначен для определения только склонений звезд, точнее, их зенитных расстояний. Он опирается на одну массивную колонну. Труба, расположенная сбоку, на одном из концов горизонтальной оси, наводится на звезду в момент ее прохождения через меридиан. При этом отсчитывается круг и уровни. Затем инструмент поворачивается вокруг вертикальной оси строго на 180° (перекладывается) и труба снова наводится на звезду. Полуразность отсчетов

кругов до и после перекладки дает направление на зенит, свободное от погрешностей установки инструмента. Тем самым получается точное зенитное расстояние звезды, из которого, зная широту места, находят ее склонение.

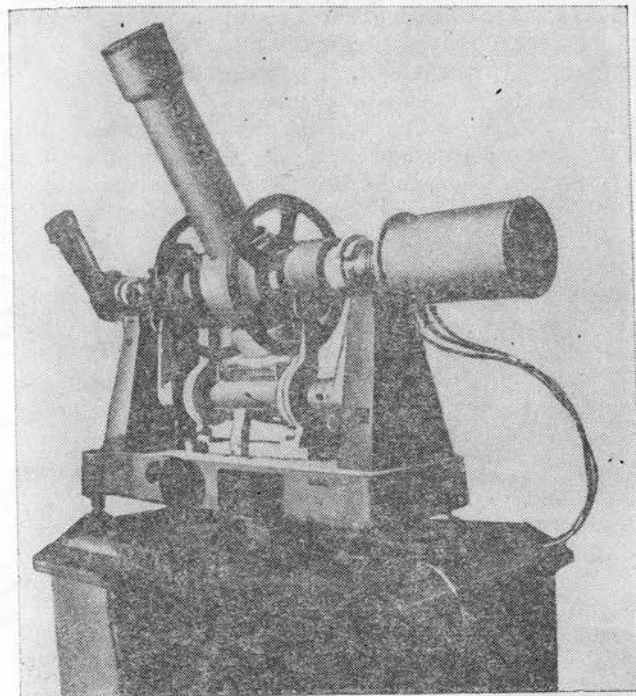


Рис. 24. Малый фотоэлектрический пассажный инструмент АПМ-1

Близок к вертикальному кругу по принципу работы зенит-телескоп (см. рис. 43), только у него нет точного разделенных кругов. Он также устанавливается в меридиане и наводится на звезду, к примеру, к северу от зенита. Затем, не меняя наклона трубы, его перекладывают и наводят на звезду к югу от зенита. Северная и южная звезды должны иметь примерно одинаковое зенитное расстояние, которое измеряется с помощью окулярного микрометра. Зная склонения этих звезд, по измеренной разности их зенитных расстояний можно определить поправку к принятому значению широты места.

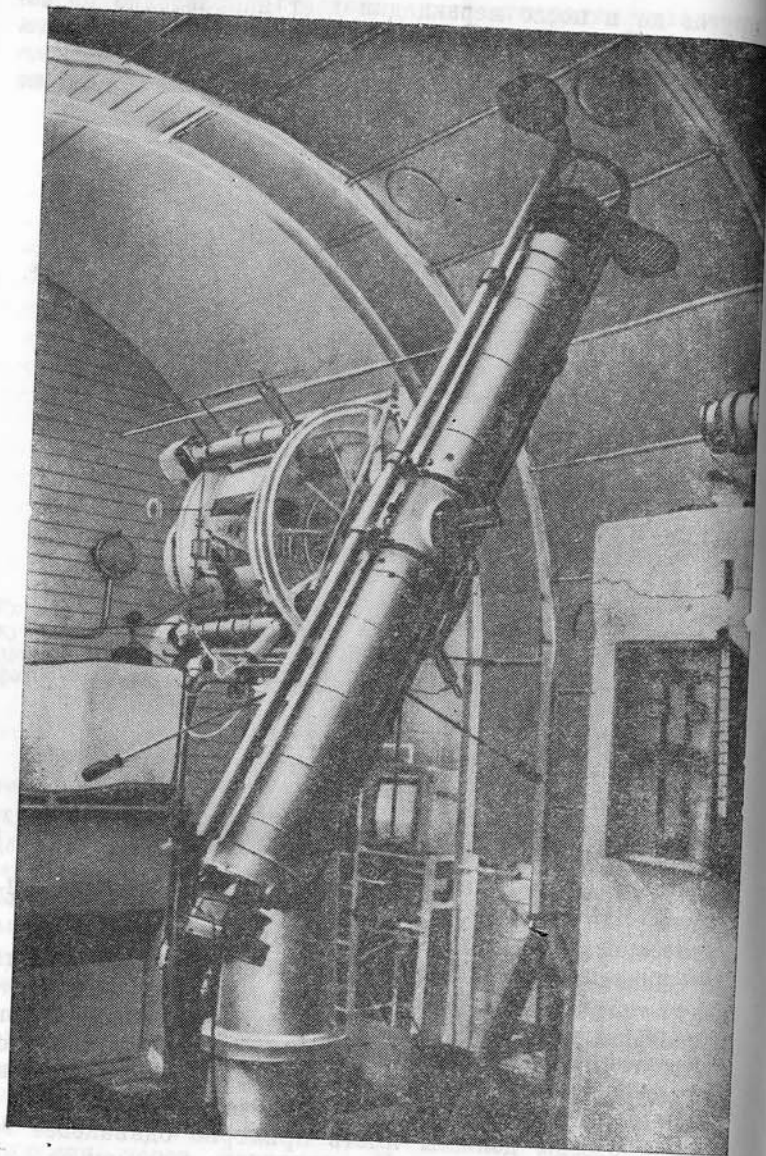


Рис. 25. Вертикальный круг ГАО АН УССР в Голосеево

Меридианные круги, большие и малые пассажные инструменты, вертикальные круги и зенит-телескопы — это так называемые «классические» астрометрические инструменты. Каждый из них должен обеспечить точность наблюдений не хуже $\pm 0,15''$ или, соответственно, $\pm 0,01^\circ$. Чтобы добиться такой точности, инструмент не только устанавливается на массивном, неподвижном фундаменте, но и несет на себе массу контрольных и юстировочных устройств: уровней, коллиматоров, контрольных датчиков и т. п. Зачастую работа с ними занимает больше времени, чем сами наблюдения.

Кроме классических, существуют и другие инструменты позиционной астрономии: фотографические зенитные и полярные трубы, призмённые астролябии и другие. В практику работ астрометристов все чаще входят новые инструменты, основанные на других принципах наблюдений — лазерные дальномеры, радиоинтерферометры со сверхдлинной базой (РСДБ) и еще ряд других. Но их применение находится пока в стадии экспериментальных исследований, и говорить об их широком распространении пока еще рано.

§ 16. Инструменты для наблюдений Солнца

Если при наблюдениях звезд и туманностей астрономы всегда испытывают недостаток света, то при наблюдениях Солнца света вполне достаточно и даже в избытке. Это позволяет использовать инструменты с объективами небольшого диаметра и очень большим фокусным расстоянием, строящим изображения в большом масштабе. Устанавливать такие телескопы на полноповоротной экваториальной или азимутальной монтировке дорого и нецелесообразно. Поэтому для наблюдений Солнца применяют:

Горизонтальные солнечные телескопы, в которых объектив неподвижен, а его оптическая ось горизонтальна. При этом вся оптическая система, объектив и светоприемная аппаратура помещаются внутри темного павильона, который и является как бы самим телескопом. Снаружи размещается только целостат — система из двух плоских зеркал, служащая для компенсации движения Солнца по небу. Первое зеркало, которое так и называется целостатным, вращается вокруг полярной оси, причем нормаль к его поверхности всегда лежит в плоскости небесного экватора. Целостатное зеркало

вращается вдвое медленнее суточного вращения Земли, делая один оборот за 48 часов. Пучок лучей от Солнца, отразившись от целостатного зеркала, попадает на второе, неподвижное, дополнительное зеркало, которое направляет его через небольшое окошко внутрь павильона на объектив. В качестве светоприемников чаще всего используются различные спектрографы с высокой дисперсией, несколько реже — простые фотокамеры.

Первый горизонтальный солнечный телескоп в нашей стране, конструкции Н. Г. Пономарева, был построен на Пулковской обсерватории в 1940 г. Он располагался в деревянном павильоне длиной 25 м, ориентированном

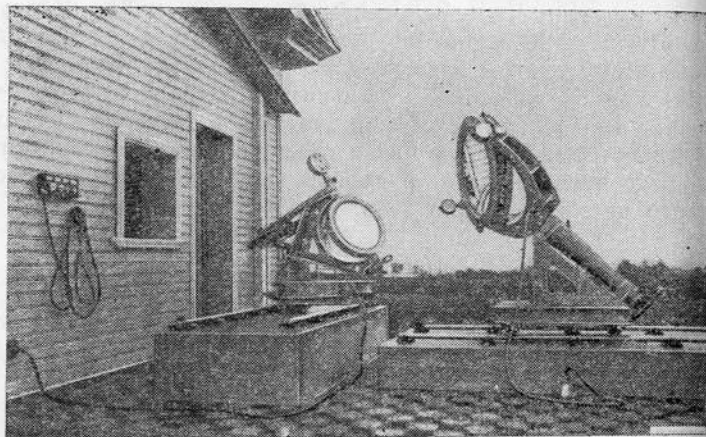


Рис. 26. Целостатная установка горизонтального солнечного телескопа

по меридиану. Главное зеркало (объектив) и зеркала целостата имели диаметр 50 см и фокусное расстояние 17,5 м. В схеме Кассегрена ($F_K = 60$ м) изображение Солнца достигало 90 см. К сожалению, этот телескоп погиб во время Великой Отечественной войны. После войны телескоп был построен заново (рис. 26).

Построить горизонтальный солнечный телескоп относительно просто, поэтому многие обсерватории сами строили такие телескопы умеренных размеров. Например, на астрономической обсерватории Киевского государственного университета своими силами был построен горизонтальный солнечный телескоп (целостатное зерка-

ло $D_n = 31$ см, дополнительное $D_d = 35$ см, главное зеркало $D = 18$ см, $F = 7,7$ м) со спектрографом.

Наибольшее распространение на наших обсерваториях получил более крупный горизонтальный солнечный телескоп заводского изготовления АЦУ-5 (диаметр главного зеркала и зеркал целостата $D_n = 44$ см, $F = 17$ м). Такие инструменты изготавливаются серийно. Они установлены на многих обсерваториях нашей страны.

Несмотря на очевидные удобства и простоту изготовления, горизонтальные телескопы не свободны от недостатков. Главным из них является то, что днем нагретая Солнцем почва создает конвективные потоки воздуха, из-за чего возникает дрожание изображения. Поэтому в ряде случаев, особенно на обсерваториях юга страны, предпочитают строить вертикальные или, как их обычно называют, башенные солнечные телескопы (рис. 27).

В таком телескопе целостатная система размещается на верхней площадке высокой башни, которая является опорой для целостата и трубой телескопа. Лучи Солнца целостатной

установкой направляются вертикально вниз, где у самого фундамента установлено главное зеркало телескопа. От него пучок лучей идет вверх, а на его пути могут быть помещены либо выпуклое кассегреновское зеркало, либо плоское ньютоновское — они взаимозаменяемы. Эти зеркала снова посылают лучи вниз, где

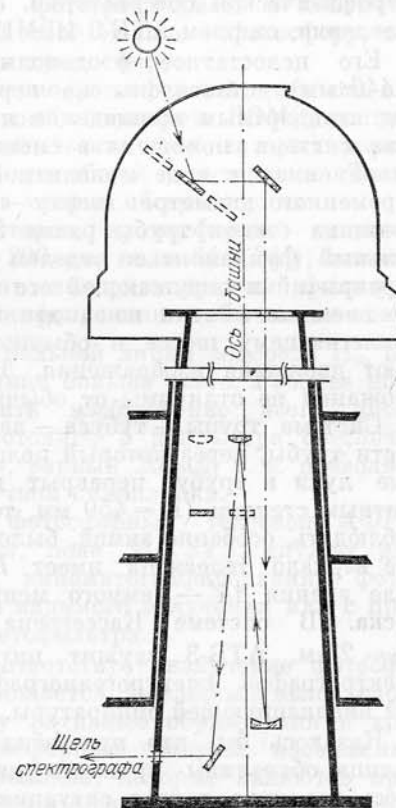


Рис. 27. Схема башенного солнечного телескопа

плоское наклонное зеркало направит их в лабораторное помещение на вход спектрографа или другого прибора. Такие башенные солнечные телескопы имеются в ГАИШ (АТБ-1), в ИЗМИРАН (АТБ-3), в Крыму (БСТ). О последнем, который является самым крупным в СССР, будет рассказано в параграфе о Крымской астрофизической обсерватории. Здесь, для общего представления, опишем АТБ-3 ИЗМИРАН.

Его целостное и дополнительное зеркала ($D = 440$ мм) установлены на верхней площадке здания, под стандартным вращающимся куполом. Вся оптическая система помещена в специальной трубе — тубусе, выполненном в виде монолитной железобетонной трубы переменного диаметра: вверху — 2,4 м, внизу — до 3,9 м. Толщина стенок трубы равна 50 см. Тубус имеет отдельный фундамент и отделен от всех междуэтажных перекрытий и окружающей его каменной башни. Поэтому внешние помехи из-за движения автотранспорта по прилегающему шоссе и обычные микросейсмы не создают дрожания изображения. Во всяком случае такие дрожания не отличимы от обычных атмосферных помех.

Система трубы — тубуса — закрытая. Люк в верхней части трубы, через который целостат направляет солнечные лучи в трубу, перекрыт плоскопараллельным защитным стеклом ($D = 450$ мм, толщина 50 мм), без чего наблюдать, особенно зимой, было бы очень сложно. Главное зеркало телескопа имеет $D = 375$ мм, $F = 17$ м и поле зрения $14'$ — немного меньше радиуса солнечного диска. В системе Кассегрена эквивалентный фокус $F'_K = 27$ м. АТБ-3 служит питающей установкой для спектрографов, спектрогелиографа, спектроскопа и другой анализирующей аппаратуры.

Казалось бы, что при обилии светового потока от Солнца объективы крупного диаметра не нужны. Но здесь возникла другая ситуация: чем больше диаметр объектива, тем лучшей разрешающей силой он обладает. И для того, чтобы иметь возможность наблюдать тонкую структуру активных образований на Солнце и грануляцию фотосферы, желательно снабдить башенные солнечные телескопы объективами большого диаметра (главное зеркало БСТ в Крыму имеет диаметр 100 см). Но чрезмерно увеличивать диаметр особой нужды нет, поскольку предел разрешающей способности кладет атмосферное дрожание изображений. И достичь разрешения деталей лучше $1''$ с поверхности Земли очень трудно.

Для фотографирования активных образований на Солнце — пятен, факелов, гранул, уже более ста лет применяют *фотогелиографы* — небольшие телескопы, позволяющие получить фотографические снимки диска Солнца со всеми деталями на нем. Со второй половины XX в. им на смену пришли *хромосферно-фотосферные телескопы*, позволяющие фотографировать и кинематографировать как внешний слой Солнца — фотосферу, так и расположенную над ним хромосферу.

Стандартный хромосферно-фотосферный телескоп, выпускаемый ленинградским объединением ЛОМО, состоит из двух рефракторов (оптические оси которых параллельны), установленных на общей монтировке. Такие инструменты работают на многих обсерваториях.

Один из этих рефракторов, хромосферный телескоп АФР-2 ($D = 60$ мм, $F = 200$ см, поле $34 \times 34'$), используется с интерференционно-поляризационным фильтром (ИПФ) с узкой полосой пропускания, обычно не шире $0,5 \text{ \AA}$, для красной спектральной линии водорода H_α , поскольку водорода на Солнце больше всего. Рабочее поле в $34'$ позволяет получить изображение всего диска Солнца, а фокусное расстояние в два метра обеспечивает размер изображения, равный 20 мм, т. е. позволяет уместить его в кадре обычной киноплёнки.

Другой рефрактор, фотосферный телескоп АФР-3 ($D = 130$ мм, $F = 878$ см, поле $34 \times 34'$), служит для фотографирования (или кинематографирования) фотосферы во всем диапазоне видимого излучения или с применением какого-либо светофильтра.

Центру линии H_α соответствует излучение фотосферы, которое сильно поглощается лежащими выше слоями хромосферы. Поэтому активные образования в хромосфере — факелы, хромосферные гранулы, называемые флоккулами, и темные волокна, которые являются протуберанцами, проектирующимися на солнечный диск, становятся видны на снимке. Снимая хромосферу на киноплёнку со скоростью, например, два кадра в минуту, можно проследить эволюцию процессов на Солнце в течение светового дня, если, разумеется, небо безоблачно. При появлении вспышек на Солнце скорость киноплёмки, разумеется, убыстряют.

Коронограф Лио. Попытки наблюдать солнечную корону вне затмения предпринимались давно. Казалось бы, сделать это достаточно просто. Нужно только поставить

на пути лучей, создающих изображение Солнца в телескопе, экран, закрывающий Солнце наподобие Луны во время затмения, поставить красный светофильтр, срезающий яркий фон дневного неба и, пожалуй, — наблюдатель корону. Оказалось, что в оптике все не так просто. Рассеянный свет в оптике телескопа создает ореол, полностью забивающий слабое свечение короны. Значительная часть ореола возникает из-за дифракции света на оправе объектива. Интенсивность этого дифрагированного света составляет десятые доли процента яркости самого Солнца, — казалось бы, величина ничтожная, но эта

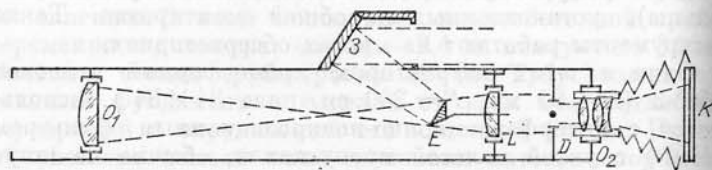


Рис. 28. Схема внезатменного коронографа Лию: O_1 — однолинзовый объектив; E — экран «искусственная Луна»; Z — дополнительное зеркальце; L — линза поля; D — диафрагма Лию; O_2 — вторичный объектив; K — кассета с фотоэмульсией

ничтожная величина все же в 300 раз ярче свечения солнечной короны.

В 1931 г. французский астроном-экспериментатор Бернар Лию (1897—1952) создал внезатменный коронограф; его схема приведена на рис. 28. Этот прибор позволил сразу продвинуть вперед дело изучения солнечной короны. Стараясь уменьшить рассеянный свет, Лию применил самый простой, однолинзовый объектив (на схеме O_1). Экран E , затмевающий изображение Солнца в фокусе объектива, называется «искусственной Луной». Он воспринимает сфокусированный, и потому очень горячее изображение Солнца (вы, наверное, помните, как при помощи лупы добыть огонь?); и чтобы избежать перегрева, «искусственную Луну» делают в виде клиновидного зеркала, отбрасывающего солнечный свет и тепло на зеркальце Z , которое выводит их из трубы коронографа. В случае необходимости к «искусственной Луне» подводится охлаждающая жидкость. Линза поля L уже не освещается прямыми лучами Солнца. Она собирает только слабый рассеянный свет и строит изображение объектива O_1 на плоскости D , где отверстие диа-

фрагмы меньше, чем изображение объектива, и эта диафрагма, получившая наименование «диафрагмы Лию», срезает дифракционное рассеяние света на краях объектива. Второй объектив O_2 строит изображение солнечной короны, которое уже не забивается рассеянным светом на фотопластинке, закрепленной в кассете K , или на щели спектрографа или на каком-либо другом приемнике излучения.

Внезатменные коронографы Лию быстро вошли в практику работ солнечных обсерваторий. Уже к 1955 г. две советские обсерватории: Кисловодская горная станция ГАО АН СССР и Алма-Атинская обсерватория получили коронографы Лию. Со временем их число в нашей стране увеличилось.

Стандартный коронограф Лию имеет объектив диаметром 200 мм и фокусное расстояние около четырех метров (оно меняется в зависимости от того, в какой длине волны проводятся наблюдения).

Со временем появились и различные модификации внезатменных коронографов, но все они имели обязательные элементы: «искусственную Луну» (E), линзу поля (L) и диафрагму Лию (D). Внезатменный коронограф Лию оказался очень удобным для получения прямых фотографических изображений солнечной короны, но для ее исследования важнее было получение ее спектральных характеристик. Коронограф Лию позволял получать спектрограммы короны, но в ограниченных пределах. Поэтому вскоре был создан *Большой внезатменный коронограф ИЗМИР—ГАО АН СССР*. При его конструировании исходили из того, что внезатменные коронографы в сочетании со спектрографами высокой дисперсии обладали бы такой же разрешающей способностью, что и башенные телескопы, т. е. примерно $1''$ и $0,05 \text{ \AA}$, а для этого требовался объектив большого диаметра. Такой коронограф был, выражаясь языком инженеров «разработан», а попросту придуман сотрудниками ИЗМИРАН Г. М. Никольским и А. А. Сазановым (поскольку Никольский известен всем астрономам страны, а Сазанов тогда не был даже кандидатом, то часто коронограф называли просто «коронографом Никольского»). Расчеты оптики были выполнены сотрудниками Д. Д. Максutowa в ГАО АН СССР. Механические узлы изготовлялись в мастерских ИЗМИРАН и ГАО АН СССР, оптика — в мастерских ГАО в Пулковe. И вот, посудите сами, как

называть такой инструмент, разработанный и созданный многими людьми разных ведомств... Для краткости назовем его просто «Коронаграф ИЗМИРАН», не претендуя на верность такого названия (рис. 29).

Первой мыслью, вложенной в этот коронаграф, было — увеличение разрешающей силы инструмента. Для этого требовался объектив большего диаметра. В то же время объектив должен был оставаться однолинзовым

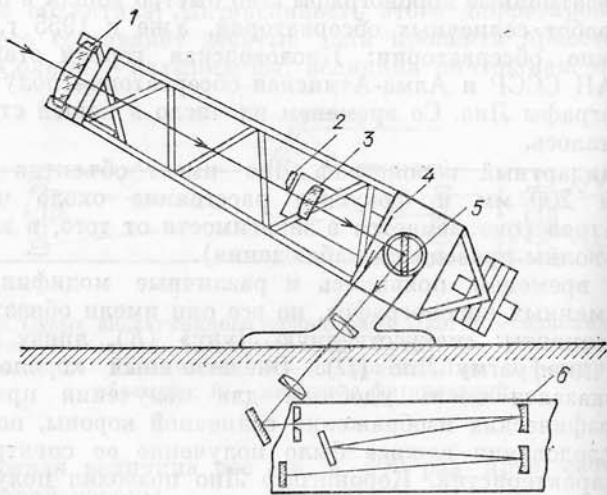


Рис. 29. Схема большого внеатомного коронаграфа ИЗМИРАН: 1 — однолинзовый объектив; 2 — «искусственная Луна»; 3 — линза поля; 4 — диафрагма Лео; 5 — плоское зеркало, направляющее изображение солнечной короны в фокус кудз; 6 — спектрографическая аппаратура

(следовательно, относительное отверстие должно быть не более чем 1:16). Поэтому отличительной особенностью нового коронаграфа явилось то, что основная часть оптической системы — объектив, «искусственная Луна», линза поля и диафрагма Лео, т. е. фактически весь телескоп, размещены перед осью склонения. За осью склонения подвешен только массивный противовес. Собранный телескопом излучение солнечной короны по схеме куда через полярную ось направляется ниже, в лабораторное помещение в нижнем этаже здания башни коронаграфа, где устанавливается дифракционный спектрограф.

§ 17. Радиотелескопы

Для приема излучения небесных тел в радиодиапазоне длин волн от 0,8 мм до 20 м используются радиотелескопы. С помощью радиотелескопов определяются направление на радиисточник, интенсивность и спектр его радиоизлучения, структура протяженных источников и составляются карты «радионеба», т. е. распределения радиисточников на небесной сфере. Радиотелескоп, как и оптический телескоп, состоит из собирающей излучение антенны, механической монтировки, позволяющей направлять радиотелескоп на нужный участок небесной сферы, и приемника радиоизлучения — полуволнового диполя (или рупора), который принимает излучение выбранной длины волны.

Антенны радиотелескопов бывают разнообразных конструкций и имеют гигантские размеры. Вид антенны определяется диапазоном длин волн, принимаемых антенной. Чашеобразные параболические антенны диаметром в несколько десятков метров устанавливаются на азимутальных монтировках и могут быть направлены в любую часть видимой полусферы неба. Действие таких антенн аналогично действию телескопа-рефлектора. Таким, например, является радиотелескоп РТ-22 Крымской астрофизической обсерватории в Голубом заливе, близ Симеиза, и похожий на него радиотелескоп в Пушкине под Москвой. Их параболические антенны имеют диаметры в 22 м и ведут прием в коротковолновом диапазоне. Самый крупный в Советском Союзе радиотелескоп такого типа РТ-70 имеет параболическую антенну диаметром 70 м (рис. 30).

Более крупные радиотелескопы имеют антенны веерного типа, состоящие из большого числа отдельных отражающих зеркал, каждое из которых управляется своей монтировкой и направляет падающее на него излучение на единый, общий облучатель, суммирующий излучение, отраженное множеством таких зеркал — отражателей. Таковы крупнейшие в Советском Союзе радиотелескоп РАТАН-600, о котором будет рассказано ниже, и большой пулковский радиотелескоп БПР (рис. 31).

Антенны радиотелескопов большого размера делаются неподвижными или имеющими ограниченную подвижность. Они регистрируют радиоизлучение от проходящих над ними объектов. В радиоастрономии объекты называются кратко: «источник» (сокращенно от «источника

радиоизлучения»). Изменения области неба, от которой ведется прием радиоизлучения, осуществляется перестановкой облучателя.

Самые большие антенны, служащие для приема длинноволнового излучения, строятся в виде решеток из элементарных приемников — диполей или вибраторов. Таков,

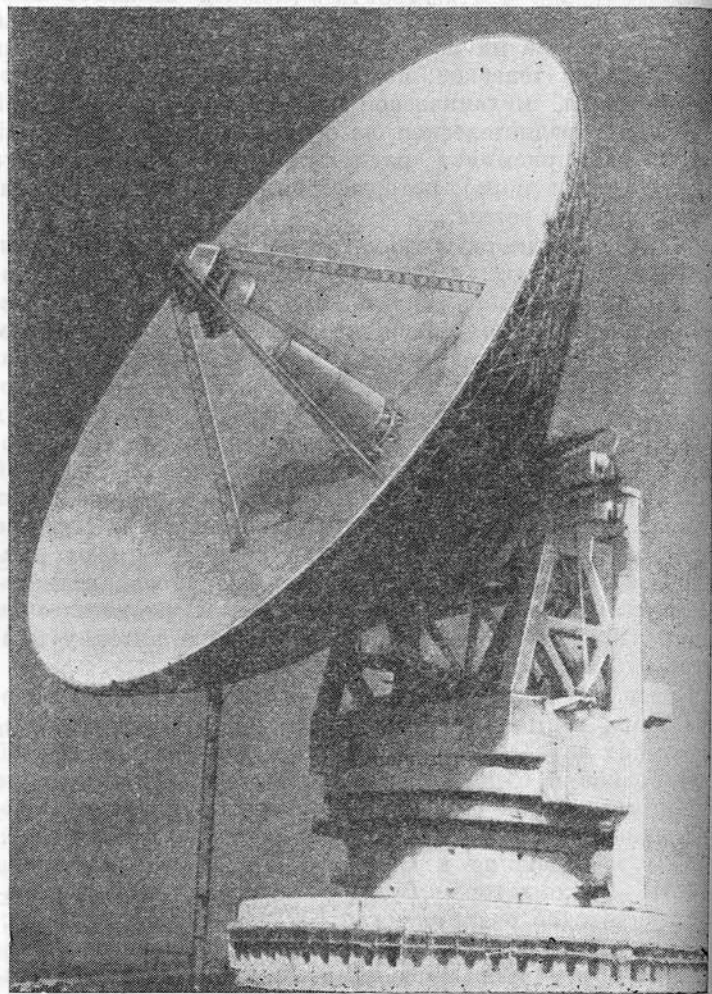


Рис. 30. Радиотелескоп РТ-70 с полноповоротной параболической антенной

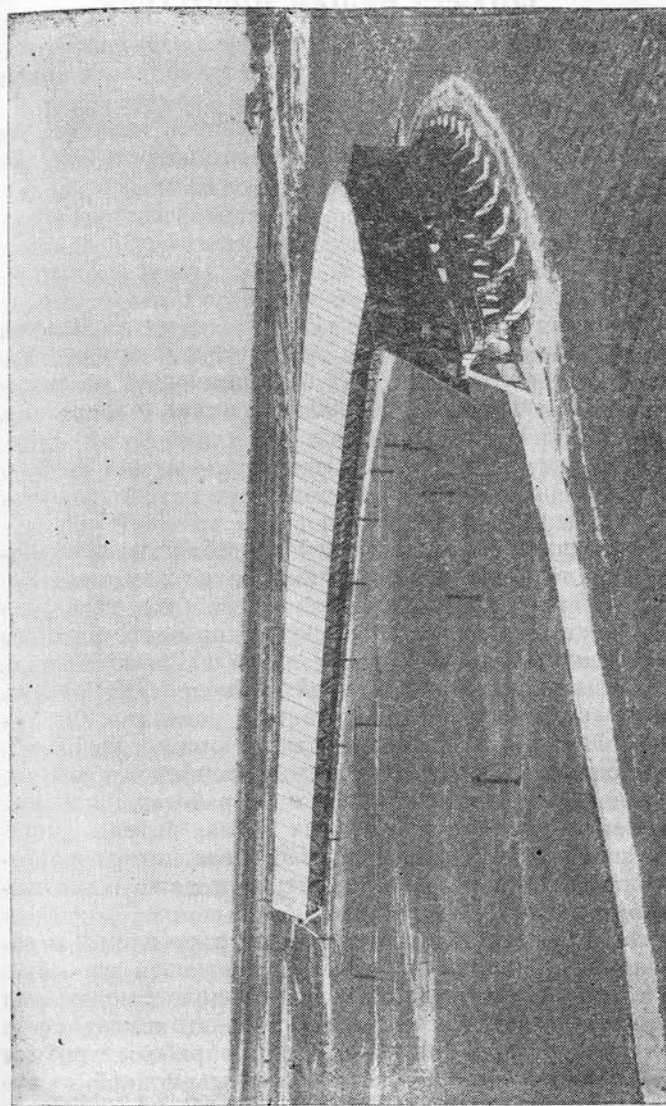


Рис. 31. Всерная антенна переменного профиля большого пулковского радиотелескопа (БРТ), отражатель которого состоит из 90 отдельных плоских щитов высотой 3 м. Эти щиты образуют часть зональной поверхности параболоида. Длина дуги параболоида по хорде — 120 м

например, радиотелескоп ИРЭ АН УССР в Харькове, имеющий Т-образную антенну размером 1800×900 м, состоящую из 2040 широкополосных вибраторов, принимающих излучение на длинах волн λ от 10 до 20 м. К этому же типу относится крестообразный радиотелескоп в Пушине, размером 1000×1000 м, ведущий прием в диапазоне $2 \text{ м} < \lambda < 10 \text{ м}$.

Некоторым недостатком радиотелескопов является их относительно низкая разрешающая способность Θ . Ее можно определить из формулы

$$\Theta \approx \frac{\lambda \cdot 206\,265''}{D},$$

где D — диаметр антенны, а $206\,265''$ — число секунд в радиане. Из этой формулы следует, к примеру, что Крымский радиотелескоп РТ-22, принимающий на волне $\lambda = 3$ мм и имеющий $D = 22\,000$ мм, имеет, округленно,

$$\Theta = \frac{3 \cdot 206\,265''}{22\,000} \approx 28'' \approx 0,5'.$$

Для повышения разрешающей способности используются радиоинтерферометры, состоящие из двух или более антенн, работающих в одном и том же диапазоне длин волн, «наблюдающих» одновременно один и тот же источник, но отстоящих друг от друга на расстояние d . Это расстояние называется базой радиointерферометра. У разных радиоинтерферометров она различна: от нескольких метров до нескольких тысяч километров. В последнем случае говорят о радиоинтерферометрах со сверхдлинной базой (РСДБ). Уже разработаны проекты радиоинтерферометров, у которых одна антенна установлена на Земле, а другая на ИСЗ. База интерферометра возрастает до нескольких десятков и даже сотен тысяч километров.

Радиоинтерферометры, в зависимости от длины и направления базы, могут достичь разрешающей способности при определении размеров и координат положения источника до $0,001''$, т. е. точнее, чем это имеет место в оптической астрономии. Но подобные работы требуют сложной аппаратуры, большой организационной подготовки и значительных затрат времени. Поэтому подобные наблюдения еще не приобрели массового характера.

Глава IV

СОВРЕМЕННЫЕ АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ОБСЕРВАТОРИИ НАШЕЙ СТРАНЫ

§ 18. Как называются астрономические обсерватории

Накопление разнообразного наблюдательного материала, собранного на созданных в конце XIX — начале XX вв. крупных телескопах, главным образом рефлекторах, позволило астрономам осмыслить картину строения Галактики, определить место Солнечной системы в ней, определить место Галактики во Вселенной. Важнейшим достижением наблюдательной астрономии явилось то, что в 1924 г. Э. Хаббл (1889—1953) по наблюдениям на 2,5-метровом рефлекторе обсерватории Маунт Вилсон получил фотографии туманностей NGC 6822 и M 31 (туманность Андромеды), на которых были обнаружены переменные звезды — цефеиды, позволившие ему оценить расстояния до этих туманностей. Они оказались больше, чем все известные до тех пор расстояния, больше, чем размеры нашей Галактики. Тем самым было доказано, что спиральные туманности находятся вне Галактики: радиус Галактики составляет примерно 100 000 световых лет, а расстояние до ближайшей к нам крупной галактики M 31 — 2 000 000 световых лет. Однако проникающей способности телескопов, построенных в первой половине XX в., не хватало для того, чтобы проникнуть далеко в глубины Метагалактики. Методы наблюдений и парк астрономических инструментов многие годы оставались практически неизменными. Так было до середины XX в.

Бурное развитие физики в послевоенный период, и в особенности атомной физики и физики элементарных частиц, дало новый мощный импульс развитию астрофизики. Сама астрофизика стала как бы экспериментальной лабораторией ядерной физики. В свою очередь развитие астрофизики в послевоенный период, как и развитие астрономии в целом, неразрывно связано с наступлением научно-технической революции. НТР вызвала расширение проникновения физических методов и методов современной вычислительной техники в астрономические исследования. Неудивительно, что все это изменило характер астрономических наблюдений. Сами же астрономиче-

ские обсерватории превратились в крупные научно-исследовательские учреждения, насчитывающие десятки, а то и сотни научных сотрудников.

Современные астрономические обсерватории имеют не только парк наблюдательных инструментов, но и лаборатории для обработки и хранения наблюдательного материала, специальные измерительные, вычислительные, оптические лаборатории. При обсерваториях обязательно есть хорошо оборудованные мастерские, в которых изготавливаются новые, уникальные (не серийные) приборы и вспомогательная аппаратура. Практически все обсерватории имеют свои собственные вычислительные центры с одной или несколькими ЭВМ.

В слове «обсерватория» некоторым слышится еще нечто обыденное, рутинное, связанное с примитивным сбором фактов, вроде отсчетов температуры и давления на метеорологических станциях. Нет ничего ошибочнее, чем думать так об астрономических обсерваториях. Но, возможно, именно поэтому в названиях современных астрономических обсерваторий появляются слова, подчеркивающие особую значимость астрономических обсерваторий как научных учреждений.

О том, что Пулковская обсерватория официально называется «Главная астрономическая обсерватория Академии наук СССР» (ГАО АН СССР), читатель, возможно, уже знает. Обсерватория в Ташкенте, имеющая более чем столетнюю историю, именуется сейчас «Астрономический институт АН УзССР», обсерватория в Душанбе — «Астрофизический институт АН ТаджССР». И так многие другие. По существу это верно. Это действительно научные институты с многочисленным штатом, разнообразными лабораториями, мастерскими, гаражами и бухгалтерией.

И все же основа, источник астрономических знаний — это наблюдения: оптические, радиоастрономические и внеатмосферные. Только на основе наблюдений человечество получает сведения об окружающей нас Вселенной. И в этом смысле все подобные институты остаются обсерваториями.

Единственное здесь исключение — «Институт теоретической астрономии АН СССР» (ИТА) в Ленинграде. Астрономы ИТА не наблюдают сами. Как следует из названия института, они занимаются теоретической астрономией: этот термин, казалось бы, охватывающий все теоретические вопросы астрономии, в действительности подразумевает только движение небесных тел, раз-

дел астрономии, иначе называемый небесной механикой. Разъяснить, в чем разница между понятиями «небесная механика» и «теоретическая астрономия», не могут даже специалисты. Но тем не менее в Ленинграде эту науку называют теоретической астрономией, а в других городах страны — небесной механикой.

Но это неважно. Важно, что Институт теоретической астрономии занимается всеми вопросами небесной механики — и абстрактными теориями движения небесных тел, и приложением этих теорий к движению конкретных объектов, и чисто практическими задачами — вычислением элементов орбит и эфемерид планет, Луны и Солнца. С 1957 г. к задачам ИТА добавилась разработка методов вычисления орбит искусственных спутников Земли, определение элементов орбит ИСЗ по наблюдениям, вычисление эфемерид и анализ точности наблюдений. Для решения всех этих задач ИТА оснащен самыми точными вычислительными машинами. Директором ИТА с 1977 г. является член-корреспондент АН СССР С. С. Лавров.

На основе теоретических разработок и вычислений ИТА издает «Астрономический ежегодник СССР» — главное справочное пособие, содержащее точные положения 779 звезд, планет, Луны и Солнца, данные о восходах и заходах, о затмениях и др., вычисленные с наибольшей, доступной в наши дни точностью. Кроме этого, ИТА издает «Морской астрономический ежегодник», «Авиационный астрономический ежегодник» — издания, специально предназначенные для моряков и летчиков, «Эфемериды малых планет», содержащие положения более 2000 малых планет в моменты их наилучшей видимости, и ряд других научных и справочных изданий.

Астрономические обсерватории различны по тематике работы, инструментальному оснащению и числу сотрудников. Наиболее крупные из них находятся в ведении Академии наук СССР или академий наук союзных республик. Таковы, например, Главная астрономическая обсерватория АН УССР, расположенная в Голосеевском лесу под Киевом, или Шемахинская астрофизическая обсерватория АН АзССР, обладающая одним из крупнейших телескопов — 2-метровым рефлектором. Некоторые солнечные или радиоастрономические обсерватории входят в состав НИИ смежных специальностей, например, Солнечные обсерватории Института земного магнетизма (ИЗМИРАН) в Ватутинках под Москвой и Института

земного магнетизма Сибирского отделения АН СССР в Восточных Саянах (СИБИЗМИР).

Пятнадцать университетов нашей страны имеют свои астрономические обсерватории (АО), решающие как учебные, так и научные задачи. Среди них такие крупнейшие обсерватории, как Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга при Московском государственном университете им. М. В. Ломоносова — Московская обсерватория, отметившая в 1981 г. свое 150-летие, и АО Ленинградского государственного университета им. А. А. Жданова, которой в 1980 г. исполнилось 100 лет.

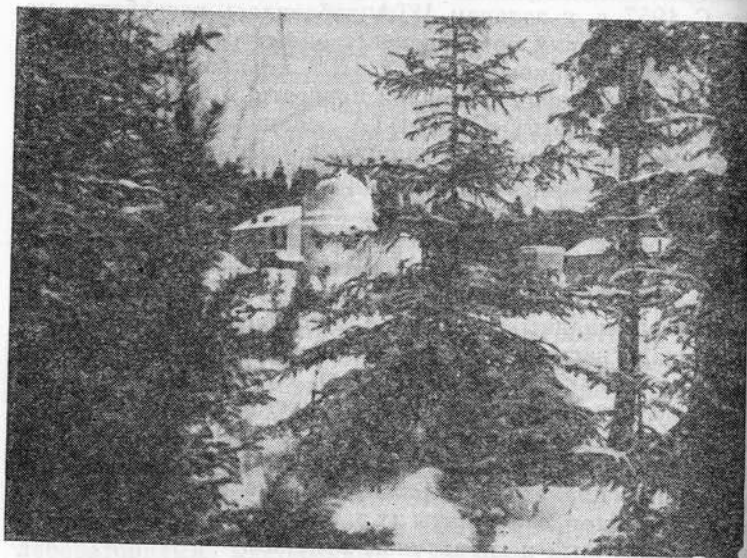


Рис. 32. Коуровская астрономическая обсерватория Уральского государственного университета

Пользуются известностью АО Харьковского, Казанского, Киевского, Одесского, Уральского (в Свердловске), Рижского и некоторых других университетов.

Условия наблюдений на старых обсерваториях, расположенных вблизи больших городов, непрерывно ухудшаются. Поэтому новые обсерватории строятся в горах, в удалении от больших населенных пунктов, в районах с оптимальным астроклиматом. Таковы Абастуманская

обсерватория в Грузии, Бюраканская обсерватория в Армении, Гиссарская обсерватория в Таджикистане. Старые обсерватории создают наблюдательные базы в аналогичных местах: Пулковская — в горах под Кисловодском и в Ордубаде, на юге Азербайджана, ГАИШ — в Крыму и под Алма-Атой, ГАО АН УССР — на Терсколе (Кавказ) и т. п.

Всего в Советском Союзе сейчас действует около 50 научных обсерваторий — академических, университетских и ведомственных. В это число входят и филиалы — наблюдательные базы и станции. Кроме того, существует ряд обсерваторий при планетариях, пединститутах и Всесоюзном астрономо-геодезическом обществе (ВАГО), объединяющем любителей астрономии. Эти обсерватории носят просветительский, учебный или любительский характер.

§ 19. Специальная астрофизическая обсерватория (САО)

В предгорьях Северного Кавказа, к югу от Черкесска, там, где кубанские равнины сменяются сначала холмистыми возвышенностями, а потом покрытыми лесом горами, по мере продвижения к югу переходящими в величественные, могучие вершины Главного Кавказского хребта, находится Специальная астрофизическая обсерватория АН СССР, или сокращенно САО. Если называть обсерватории по названиям тех городов, населенных пунктов или рек, вблизи которых они расположены, то эта обсерватория скорее всего называлась бы Зеленчукской, поскольку ближайшим населенным пунктом является станция Зеленчукская.

Эта обсерватория представляет собой современный научный комплекс, включающий два гигантских астрономических инструмента — крупнейший в мире оптический телескоп БТА и огромный радиотелескоп РАТАН-600, а также отдельно стоящий лабораторный корпус с кабинетами и всем тем, что полагается иметь крупному научному учреждению. Рядом с лабораторным корпусом построены мастерские, гаражи и жилые корпуса. Все они размещены в живописном, тенистом ущелье на берегу быстрой горной реки Большой Зеленчук и называются поселком Нижний Архыз, в отличие от существующего несколько десятков лет и лежащего выше по реке поселка Верхний Архыз. Но местные жители, да и сами астрономы называют свой поселок ласково Буковкой или Бу-

ково, от тех буков, которыми поросли окружающие посело склоны гор.

Во внешнем виде поселка почти ничего не говорит об астрономической специализации этого учреждения. Только на лабораторном корпусе стоят две маленькие башенки с небольшими вспомогательными телескопами. Да и звезды из глубины ущелья видны плохо. Но именно здесь, в Нижнем Архызе, размещен центр того научного комплекса, который составляет САО. Отсюда астрономы ездят для наблюдений на БТА, здесь они обрабатывают полученные наблюдения, здесь же готовятся к новым наблюдениям.

§ 20. БТА — большой телескоп азимутальный

Поднимаясь по шоссе вверх от Нижнего Архыза, преодолев 19 поворотов горного серпантина — а шоссе там превосходное, — наблюдатели попадают на одну из вершин предгорий — в урочище Семи родников. Здесь на высоте 2070 м установлен крупнейший в мире оптический телескоп с диаметром главного зеркала, равным 6,05 м. Он называется «Большой телескоп азимутальный», сокращенно БТА.

БТА — единственный в мире, уникальный по своим возможностям инструмент. В наблюдениях на нем заинтересованы многие астрономы. Поэтому БТА является национальным телескопом. Академия наук СССР создала специальный Комитет по тематике шестиметрового телескопа, сокращенно КТШТ, распределяющий время наблюдений на БТА. В КТШТ, председателем которого является член-корреспондент АН СССР А. А. Боярчук, входят представители всех крупнейших обсерваторий Советского Союза. Этот комитет собирает и рассматривает заявки от советских и зарубежных обсерваторий и отдельных астрономов. Комитет оценивает значимость и актуальность заявленных программ; 70% времени наблюдений предоставляется приезжим астрономам, в том числе зарубежным, и 30% — сотрудникам САО.

Первоначально задача создания большого телескопа, не уступающего по своим размерам и возможностям крупнейшим телескопам мира или даже превосходящим их, была поставлена более двадцати лет назад. Проектирование и строительство БТА показало, что советской оптической промышленности под силу создание самых точных и сложных машин, механизмов и приборов.

Главным конструктором 6-метрового телескопа стал один из лидеров советской оптико-механической промышленности, лауреат Ленинской премии, Баграт Константинович Иоаннисиани (1911—1985). В проектировании БТА принимал участие коллектив инженеров и конструкторов Ленинградского оптико-механического объединения им. В. И. Ленина (ЛОМО), а также многие выдающиеся астрономы и оптики нашей страны.

Основной организацией, изготовлявшей БТА, является ЛОМО. Но в изготовлении телескопа-гиганта участвовал ряд заводов и институтов страны, в том числе такие крупные, как Кировский и Адмиралтейский заводы Ленинграда. Отливка стеклянной заготовки для зеркала проводилась на подмосковном заводе оптического стекла в Лыткарино. Установка для алюминирования зеркала делалась в Горьком. Участвовали в работе и другие заводы Москвы, Ростова-на-Дону и других городов. В память этого на подъезде к БТА, на последнем участке шоссе, стоит дорожный указатель: до Москвы — 1890 км, до Ленинграда — 2620, до Ростова-на-Дону — 540, до Горького — 2190 км.

Как и во всяком новом большом деле, создатели БТА столкнулись с немалыми трудностями. Первым встал вопрос о главном зеркале — каким ему быть и из чего его делать? Зеркало диаметром в 6 м должно иметь параболическую поверхность, отполированную с точностью до $1/16$ длины световой волны, быть жестким настолько, чтобы сохранять эту поверхность при любых его наклонах, и иметь минимальный коэффициент теплового расширения, чтобы форма его поверхности не искажалась при перепадах температуры от дня к ночи и от лета к зиме.

Заманчиво было изготовить зеркало из плавленного кварца, коэффициент теплового расширения которого на порядок меньше, чем у стекла, и составляет всего $0,4 \cdot 10^{-6}$, или из нового материала — ситалла, коэффициент теплового расширения которого практически равен нулю. Но конструкторы ясно представляли себе сложность изготовления и обработки больших зеркал из плавленного кварца, а технология обработки больших блоков ситалла в то время вообще еще не была разработана. Поэтому проектировщики остановились на сорте стекла, который называется пирекс и имеет коэффициент теплового расширения, равный $3 \cdot 10^{-6}$, что несколько меньше, чем у обычных сортов оптического стекла.

Для изготовления зеркала небывалого диаметра и небывалой массы — одна его заготовка должна была иметь массу 70 тонн — потребовалось разработать новую технологию плавки и отливки, а главное — технологию охлаждения такой большой массы стекла.

Только подготовительные работы и установка соответствующего оборудования потребовали около трех лет. Расплавленная стеклянная масса, по прогреваемому газом сливному лотку и дальше по трубе, выполненной из платины и обогреваемой водородным пламенем, поступала в форму для отжига и медленного охлаждения. Было отлито две заготовки. Первая из них, используемая для опытно-производственных целей, охлаждалась относительно быстро — предполагалось остудить ее за девять месяцев. Заготовка не выдержала такого «быстрого» охлаждения. Однородность массы в ней нарушилась, и она раскололась на две примерно равные части. Они были использованы для изготовления зеркал меньшего диаметра.

Вторая рабочая заготовка на основе полученного опыта охлаждалась медленнее — со скоростью 0,03 градуса в час. Ее охлаждение продолжалось два года и 19 дней. Полученная заготовка была подвергнута сначала грубой обработке для придания ей заданной формы, на что ушло 16,5 месяцев и 15 000 карат алмазного инструмента. В ходе обработки масса заготовки уменьшилась примерно на 30 тонн. Позднее была отлита третья заготовка.

В полировальной мастерской — помещении с жестким фундаментом и тройной термозоляцией, был установлен полировальный станок и аппаратура для исследования зеркала. В помещении работало только два человека: дыхание третьего уже изменило бы температурный режим мастерской.

В окончательном виде зеркало имеет диаметр 6050 мм, форму мениска с радиусами кривизны поверхностей, равными 48 м, и следовательно, $F = 24$ м, и толщину 650 мм. В его нижней части сделано 60 круглых углублений для размещения в них разгрузочных опор, расположенных четырьмя концентрическими кругами. Расчет показывает, что система разгрузки может обеспечить сохранение формы поверхности зеркала настолько, чтобы ее искажения не превышали $1/16$ длины световой волны.

Зеркало было окончено в июне 1974 г. Его окончательная масса составила 42 тонны. Оправа зеркала изготовлялась на Адмиралтейском заводе в Ленинграде. Пе-

ревозка зеркала, как и других крупных деталей телескопа, представляла уникальную транспортную операцию. Они перевозились водным путем, по Волге и Дону до Ростова. В Ростове мощные тягачи прицепили платформы с деталями телескопа и медленно, осторожно повезли их в горы. Было лето, стояла жара, груз был тяжелым, асфальт плавился под колесами тягачей. Поэтому рядом с ними ехали дорожные машины и непрерывно поливали водой колеса тягачей и платформ. Так проехали за два дня 530 км до станции Зеленчукской. Дальше пошел горный участок дороги; автопоезда с прицепами с трудом преодолевали крутые повороты серпантина. Чтобы тяжелые машины спокойно доставили свой редкостный груз, шоссе пришлось специально расширить. Сейчас, когда телескоп уже регулярно работает, астрономы с благодарностью вспоминают строителей, обеспечивших им удобное и быстрое передвижение между Нижним Архызом и башней БТА.

Принципиально новой в мировой астрономической практике оказалась конструкция монтировки БТА. Чтобы нагляднее представить сложность этого дела, напомним, что второй в мире по размерам после БТА Маунт-паломарский телескоп имеет диаметр зеркала $D = 5$ м, всего на один метр меньше, чем у БТА. Масса Маунт-паломарского зеркала составляет «всего» 13 т, масса его подвижных частей около 500 т. Во сколько же раз должна возрасти масса подвижных частей БТА, ведь масса его зеркала достигает 42 т?

После рассмотрения различных вариантов было признано, что большая параллактическая монтировка была бы очень тяжела, громоздка и с инженерной точки зрения неуклюжа. Было предложено использовать альт-азимутальную монтировку, у которой одна ось вертикальна, другая горизонтальна и инструмент вращается вокруг осей по азимуту и высоте. При такой монтировке,

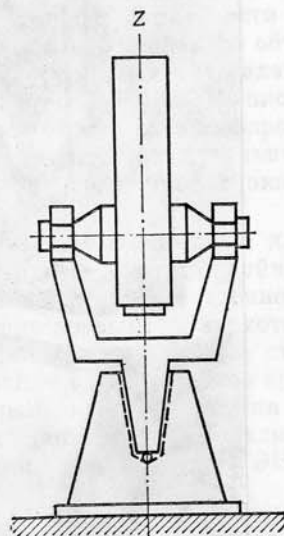


Рис. 33. Схема альт-азимутальной монтировки телескопа (Z — зенит)

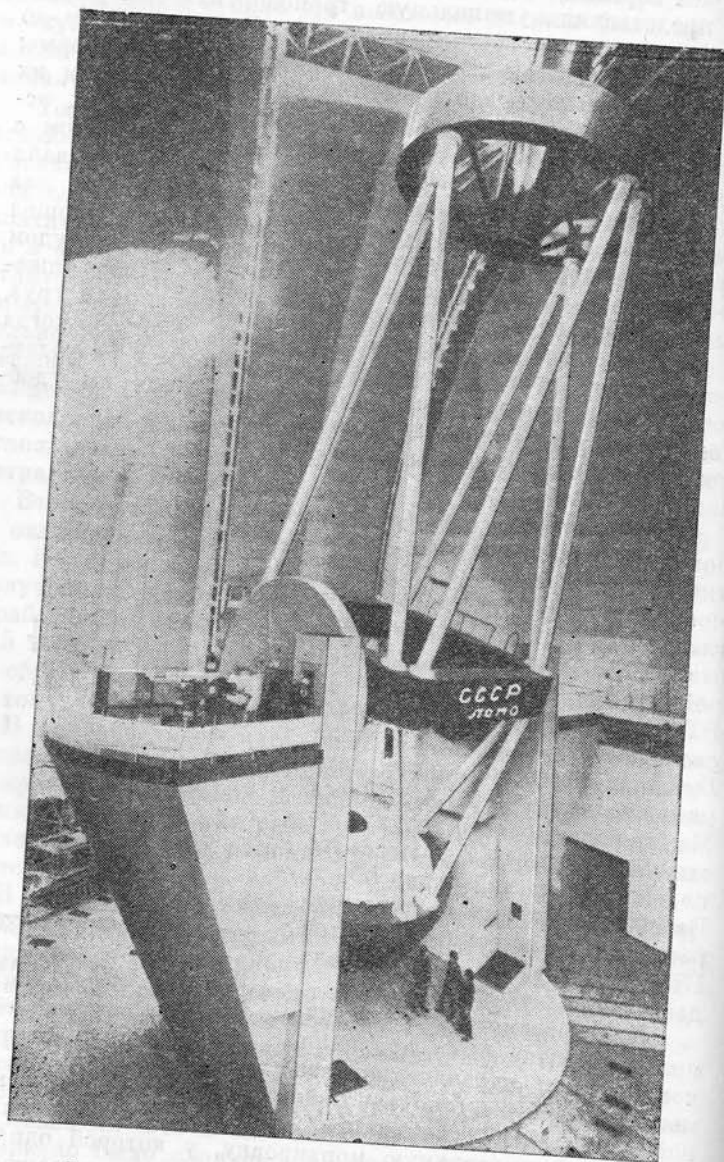


Рис. 34. БТА — большой телескоп азимутальный

чтобы телескоп следил за звездой, инструмент нужно поворачивать вокруг обеих осей одновременно, причем в разных углах поворота с разной скоростью. Это, конечно, неудобно. От подобной монтировки отказались еще в XVIII в. Кстати, само слово «альт-азимутальный» некоторые авторы трактуют как «старо-азимутальный», производя его от немецкого «alt» — старый. В действительности это название происходит от латинского «altum» — высота, и название монтировки следует понимать как «высота и азимут». В результате то, что было неудобным и непрактичным в XIX в., оказалось единственно приемлемым во второй половине XX века.

Альт-азимутальная монтировка имеет вполне симметричный вид. При вращении вокруг вертикальной азимутальной оси нагрузки на вертикальную ось остается постоянной и распределяется равномерно. Наклон и изгиб трубы телескопа происходит только в одной плоскости и зависят лишь от зенитного расстояния наблюдаемого объекта. Упрощается система разгрузки зеркала и вся балансировка телескопа. Все это упрощает и облегчает конструкцию. Например, для радиотелескопа с полноповоротной антенной диаметром 50 м стоимость азимутальной монтировки составляет всего 20% по сравнению с экваторальной.

Известно, что подобная азимутальная монтировка для крупных телескопов была разработана еще до войны, в 1941 г., одним из основоположников отечественного астроприборостроения Н. Г. Пономаревым. Патриотом этой идеи стал Б. К. Иоаннисиани. Отрицательные стороны альт-азимутальной монтировки — одновременное вращение вокруг двух осей плюс вращение поля зрения и неравномерность скоростей этих движений — оказались преодолимыми при использовании управляющей ЭВМ и точных механизмов движения.

В результате применения альт-азимутальной монтировки масса подвижных частей БТА составляет 850 т, что всего в 1,6 раза больше, чем масса подвижных частей Маунт-паломарского телескопа. Точность изготовления узлов БТА (а телескоп состоит из деталей 25 000 наименований) и чистота балансировки телескопа таковы, что движение этой машины осуществляется мотором мощностью всего 200 Вт!

Схема конструкции БТА показана на рис. 35. Массивные опоры (1), фиксирующие направление горизонтальной оси, установлены на двух вертикальных столбах вы-

сотой 8 м (2), несущих горизонтальную ось и боковые наблюдательные площадки. Столбы расположены на опорной горизонтальной платформе (3), диаметр которой равен 12 м, и все это вместе опирается на вертикальную ось (4). Вертикальная ось передает всю нагрузку телескопа на сферическую опору (5), которая своей сферической поверхностью диаметром 6 м лежит на шести сферических вогнутых подушках (6), имеющих такой же

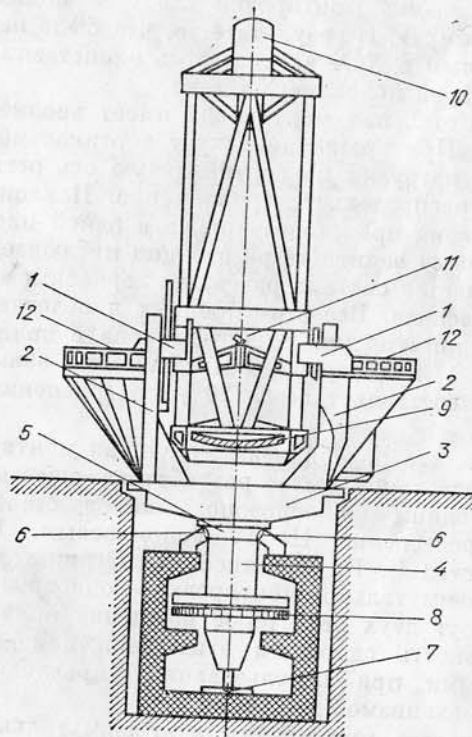


Рис. 35. Схема конструкции БТА. Обозначения приведены в тексте

радиус кривизны, что и сферическая опора, и отполированы они на той же полировочной машине, что и главное зеркало. Между опорой и вогнутыми подушками под высоким давлением нагнетается тонкий слой масла толщиной в несколько сотых долей миллиметра. На этой пленке масла, как на гидростатической подушке, и плавают вся многотонная громадина телескопа. Расчеты по-

казывают, что трение в таком гидростатическом подшипнике в несколько раз меньше, чем в подшипниках качения. Впервые такие гидростатические подшипники были применены в конструкции 5-метрового Маунт-паломарского телескопа. С тех пор принцип опоры на гидростатические подшипники применяется во всех больших телескопах.

В нижней части вертикальной оси расположена нижняя опора (7) — регулятор направления вертикальной оси. На вертикальную ось надета зубчатая передача для вращения телескопа вокруг вертикальной оси (8). В крупных рефлекторах трубы телескопа, как правило, не делают. Ее заменяют каркасной конструкцией из скрепляющихся штанг, что обеспечивает равные прогибы верхней и нижней частей конструкции и предотвращает взаимные развороты зеркал. Основная масса его конструкции определяется главным зеркалом (9). В верхней части телескопа (10) находится «стакан», где размещается наблюдатель; здесь же размещаются линзовая коррекционная система и вторичное выпуклое зеркало при наблюдении в схеме Нэсмита. В центральной части телескопа находится плоское зеркало (11), направляющее сходящийся пучок лучей от вторичного выпуклого зеркала внутрь горизонтальной оси, выводя фокус системы на одну из наблюдательных площадок. Такая схема, содержащая главное зеркало, вторичное выпуклое зеркало и одно плоское зеркало, т. е. как бы неполная схема кудэ, называется схемой Нэсмита. По обе стороны телескопа, опираясь на столбы, находятся боковые наблюдательные площадки (12), на которых размещены неподвижные приемники излучения, главным образом спектрографы.

БТА может работать в двух оптических схемах: в главном первичном фокусе и в схеме Нэсмита. В первичном фокусе наименьшие потери света, однако свободное от аберраций поле зрения составляет всего 2'. Для расширения поля перед главным фокусом устанавливается двухлинзовый компенсатор, увеличивающий поле до 12'. При наблюдениях в главном фокусе наблюдатель размещается в специальной кабине — она называется «стакан», причем главный фокус находится как раз внутри этого стакана. Кабина имеет диаметр 180 см и высоту 226 см. Так как кабина расположена на пути пучка лучей, падающих на главное зеркало, а астроном, находящийся в кабине, теплотой своего тела нарушает температурное поле телескопа, кабина после входа в нее наблю-

дателя со всех сторон закрывается. Стенки кабины покрыты термоизоляционным покрытием, а чтобы наблюдатель не задохся, к кабине подведена вентиляционная система, обеспечивающая необходимый обмен воздуха.

Схема Нэсмита включает в себя вторичное выпуклое зеркало, устанавливаемое в нижней части «стакана» на смену линзовой коррекционной системе. Вторичное зеркало направляет лучи обратно, и на пути они встречаются

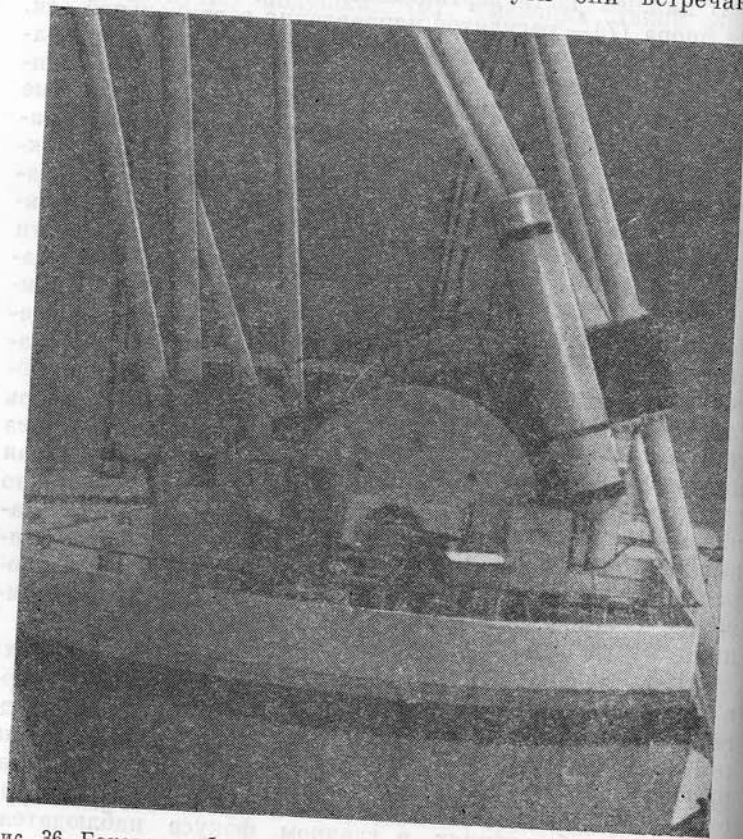


Рис. 36. Боковая наблюдательная площадка БТА с размещенными на ней приборами

небольшое плоское зеркало, которое посылает лучи на одну из наблюдательных площадок — платформ для установки приемной аппаратуры. В этой схеме БТА имеет $F = 180$ м и относительное отверстие $A = 1:30$.

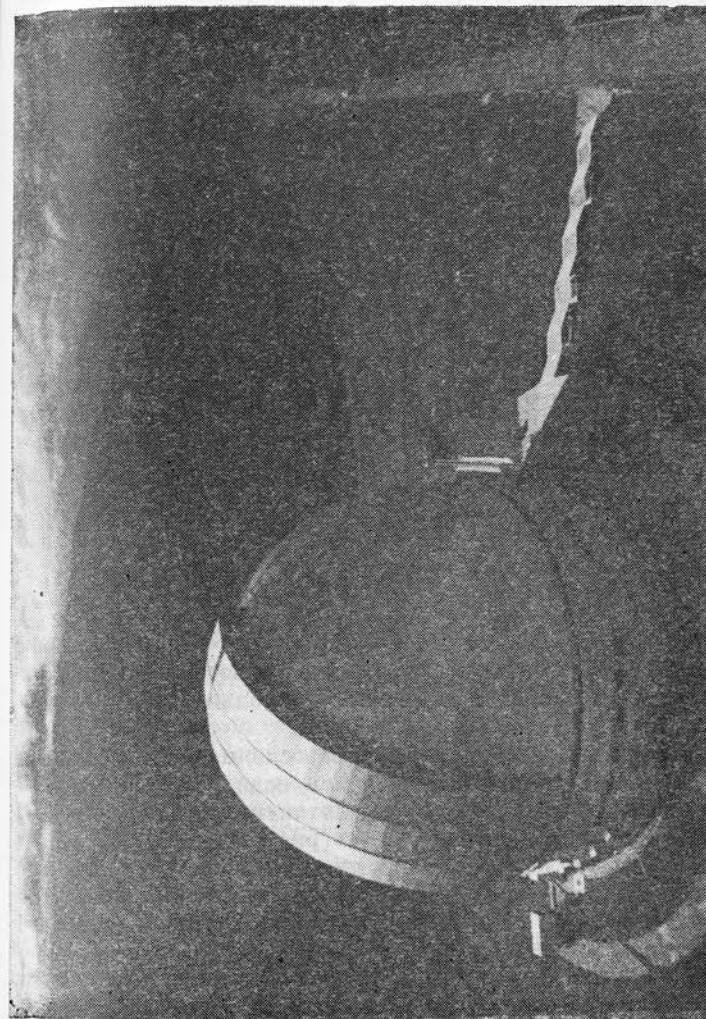


Рис. 37. Башня БТА на горе Семипрошки

Исследования, выполненные наблюдателями БТА, показали, что качество его изображений достаточно высоко: 61% света концентрируется в кружке диаметром 0,5" и 91% — в кружке диаметром 1". Это говорит о том, что качество изображений в основном определяется неспокойствием атмосферы, а не качеством зеркала. Новый

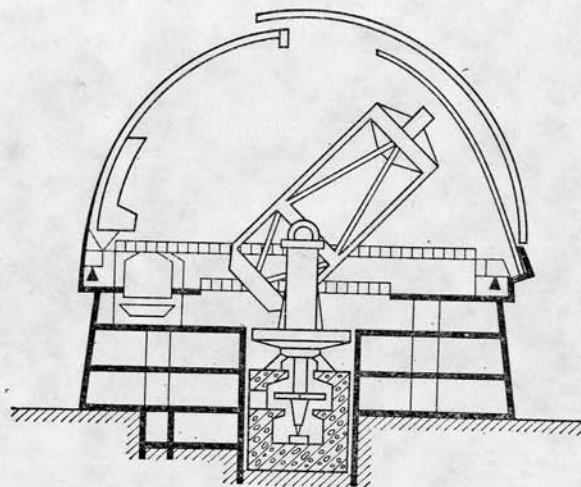


Рис. 38. Схема размещения БТА в башне

телескоп позволяет наблюдать звезды методами прямой фотографии до 24,5^м, а при особенно благоприятных атмосферных условиях и до 25^м.

Для телескопа БТА построена специальная башня. Размеры ее можно себе представить, если учесть, что расстояние от главного зеркала до «стакана», где находится главный фокус, превышает 24 м (рис. 38). Купол башни имеет массу около 1000 т, его диаметр по кругу катания равен 44,2 м, а рабочая площадь подкупольного пространства — 3536 м². Весь объем подкупольного пространства должен иметь одинаковую температуру, равную температуре наружного воздуха. Поэтому купол БТА сложен из трех слоев дюралюминиевых панелей с теплоизоляционными прокладками. Невдалеке от башни БТА, чуть ниже по склону, построена вентиляционная станция с мощным кондиционером, способным в любое время года подавать в подкупольное пространство воздух такой же

температуры, как и температура ночного воздуха. Этот воздух прогоняется внутри обшивки купола и продувает пространство под полом башни.

Люк башни открывается на ширину 11 м. Он прикрывается забралом, которое во время наблюдений перекидывается на противоположную сторону купола. Масса этого забрала 33 т.

Сложные механизмы управления БТА требуют присутствия ночью, во время наблюдений, помимо наблюдателя в «стакане», целой бригады инженеров и обслуживающего персонала, которые следят за работой механизмов телескопа. Поэтому ясно, что каждая минута эксплуатации телескопа стоит весьма дорого и время работы на нем должно использоваться строго рационально.

Остается добавить, что со времени вступления в строй в 1977 г. на БТА уже получены интересные научные результаты, но рассказ о них выходит за рамки нашей темы. Монтровка телескопа оказалась весьма удачной. Видимо, она надолго войдет в практику телескопостроения. Уже сейчас на подобной альт-азимутальной монтровке строится английский рефлектор диаметром 4,2 м, который будет установлен на острове Лас-Пальмас на Канарских островах, и проектируется телескоп диаметром 7,6 м Техасского университета в США.

§ 21. Радиотелескоп РАТАН-600

В 40 км к северу от Нижнего Архыза, на окраине станции Зеленчукской, построен крупнейший в нашей стране, один из трех самых крупных в мире, радиоастрономический телескоп Академии наук СССР (общая поверхность антенны составляет более 13 000 м²), диаметр кольцевой антенны которого равен 600 м. Отсюда происходит его сокращенное название РАТАН-600. Он вступил в строй в феврале 1977 г. и входит в состав САО, но, в отличие от БТА, расположен не на горе, а в долине, окруженной плавным изгибом Кавказских предгорий.

Антенна радиотелескопа РАТАН-600 представляет собой кольцевой отражатель в виде стены из 895 прямоугольных алюминиевых зеркал, каждое из которых имеет ширину 2 м и высоту 7,4 м. На тыльной стороне каждого зеркала имеется 276 опор, которыми оно крепится на металлической ферме. Эти опоры подвижны, они могут поворачивать зеркало, выдвигать его вперед или убирать назад и регулировать форму зеркала, придавая ему необ-

ходимую вогнутую форму. Тем самым компенсируются прогибы зеркала, возникающие из-за изменений температуры или, со временем, под действием внутренних натяжений. Каждая ферма установлена на массивном железобетонном основании, обеспечивающем стабильность установки зеркала.

Чтобы наиболее полно использовать возможности радиотелескопа, необходимо, чтобы все 895 зеркал действовали согласованно. Это можно обеспечить, только применяя управляющую ЭВМ, синхронно изменяющую установку всех зеркал.

Радиополучение, собранное антенной — отражателем, передается на облучатели. Их три. Они представляют собой передвижные лаборатории, которые могут перемещаться по рельсовым путям. По образному выражению одного журналиста, они похожи и на железнодорожный вагон, и на морской корабль одновременно. На крыше каждого такого домика-вагончика установлена приемная антенна — вторичный облучатель, которая принимает излучение, собранное многими зеркалами антенны, и отражает его на первичный облучатель-рупор, являющийся входом приемной и измерительной аппаратуры. В зависимости от угла высоты наблюдаемой области, облучатель приходится устанавливать в различных точках поля (рис. 39). Для этого внутри кольца, образованного антенной, проложены рельсовые пути, по которым вагончики-облучатели могут переезжать с места на место, занимая наиболее рациональное положение.

Строго говоря, РАТАН-600 это — азимутальный телескоп. Он может регистрировать излучение от радиосточника, проходящего через заданный меридиан или азимут. Конструкция радиотелескопа позволяет наблюдать радиосточники в зоне склонений от -40° до $+90^\circ$, т. е. охватывать примерно 70% всей поверхности небесной сферы.

В принципе можно навести все 895 зеркал антенны на одну точку неба — в области вблизи зенита. Но обычно управление РАТАНом осуществляется так, что когда зеркала одной стороны кольца наведены на одну точку неба, то зеркала другой части кольца принимают излучение от другой части неба. Таким образом, РАТАН может наблюдать три области неба в трех разных азимутах. При этом в каждом азимуте работает примерно 1/4 зеркал РАТАНа.

Размеры собирающей поверхности зеркал антенны определяют количество принимаемого излучения. Эффек-

тивная площадь зеркал каждой части телескопа составляет несколько тысяч квадратных метров. РАТАН-600 может принимать радиополучение с длинами волн от 8 мм до 30 см. Информация, собранная в процессе наблюдений, обрабатывается на ЭВМ практически одновременно с самими наблюдениями. Когда через азимут облучателя

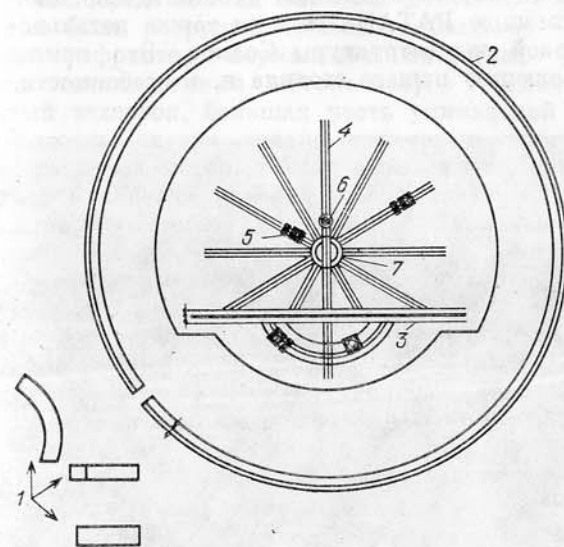


Рис. 39. Схема радиотелескопа РАТАН-600: 1 — лабораторные корпуса; 2 — кольцевой отражатель; 3 — прямолинейный отражатель; 4 — рельсовые пути для перемещения облучателей; 5 — передвижные вагоны-лаборатории с облучателями; 6 — приемник радиополучения; 7 — поворотный круг

проходит радиосточник, ЭВМ рассчитывает и печатает его координаты, интенсивность и другие параметры и заносит эту информацию в память машины, чтобы использовать ее позже, для более полной обработки.

Наблюдения на радиотелескопе почти не зависят от атмосферных условий. Большая площадь антенны — отражателя и применение специальной методики позволили избавиться от погодных ограничений и проводить наблюдения как при облачной погоде, так и днем.

Новый радиотелескоп дает возможность проникать в самые глубины Вселенной. РАТАН-600 позволил уверенно зарегистрировать небесный объект, расстояние до которого — несколько миллиардов световых лет. Тем самым

астрономам удалось заглянуть в тот отдаленный период существования наблюдаемой части Вселенной, когда еще не существовало наших планет. С помощью РАТАНа проводится многочастотный обзор всей наблюдаемой части неба. Обнаружено много новых радиисточников. Это самый глубокий обзор неба, выполненный с предельно высокой точностью и высокой чувствительностью.

С помощью РАТАНа ведется также детальное изучение мелкой радиоструктуры Солнца. Это помогает изучить эволюцию нашего светила и, в особенности, понять

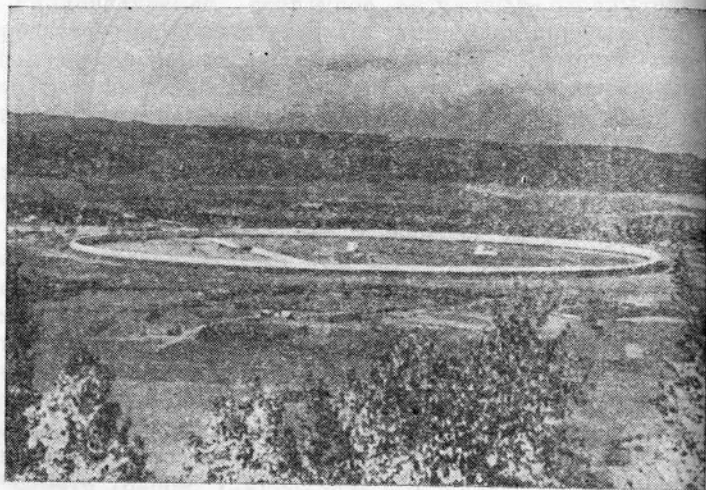


Рис. 40. Общий вид радиотелескопа РАТАН-600

этапы начальной стадии развития Солнца и его дальнейшую эволюцию. Начато изучение нашей Галактики в радиодиапазоне. Уже первые радиоизображения ядра Галактики показали, что сложившееся ранее представление о нем недостаточно точно, а частично даже ошибочно. Так, не нашла подтверждения точка зрения некоторых астрономов, допускавших существование в ядре Галактики огромного сверхмассивного тела. Оказалось, что центр Галактики окружен достаточно равномерной областью пониженого водорода.

Проводятся на РАТАНе и другие виды радиоастрономических исследований, направленных на изучение природы Вселенной.

§ 22. Пулковская обсерватория в наши дни

С первых же дней Великой Отечественной войны Пулковская обсерватория подвергалась ожесточенным бомбардировкам и артобстрелу. Врагу не дали ступить на территорию обсерватории, но более 900 дней фронт проходил в непосредственной близости к обсерватории. Все ее здания были разрушены. Погибли большой 76-сантиметровый рефрактор, нормальный астрограф (от них остались только линзы объективов), горизонтальный солнечный телескоп, большая часть уникальной библиотеки. Удалось спасти только некоторые инструменты средних размеров, которые были вывезены в Ленинград и хранились в подвалах здания Академии наук. Погиб и зеленый парк обсерватории: он был буквально срезан пулями и осколками.

Еще до окончания войны, 11 марта 1945 г., было принято правительственное решение о восстановлении и расширении Пулковской обсерватории, как Главной астрономической обсерватории Академии наук СССР (ГАО АН СССР). Обсерватория восстанавливалась в своем классическом виде; этому способствовало то, что заглубленные в грунт массивные каменные фундаменты, на которых до войны были установлены инструменты, почти не пострадали, и некоторые меридианные инструменты можно было ставить на прежнее место. Но прежде чем строить обсерваторию заново, нужно было очистить территорию обсерватории и ее окрестности от мин и неразорвавшихся снарядов. И еще много лет на территории обсерватории и вокруг нее работали саперы, доставая из земли смертоносную начинку и подрывая ее в безопасных местах.

В 1947 г., в разгар восстановительных работ, директором Пулковской обсерватории был назначен выдающийся астроном и гравиметрист, член-корреспондент АН СССР А. А. Михайлов (1888—1983; с 1964 г. — академик АН СССР). В том же 1947 г. состоялись первые после войны астрономические наблюдения на двух инструментах.

Попытка заказать, взамен погибших, новые инструменты в США закончилась неудачей. Изготовить их было поручено заводам и институтам Ленинграда, уже имевшим, хотя и небольшой, предвоенный опыт изготовления различных телескопов. В первые послевоенные годы Пулковская обсерватория получила зеркально-линзовую камеру системы Г. Г. Слюсарева ($D = 280$ мм, $F = 150$ см),

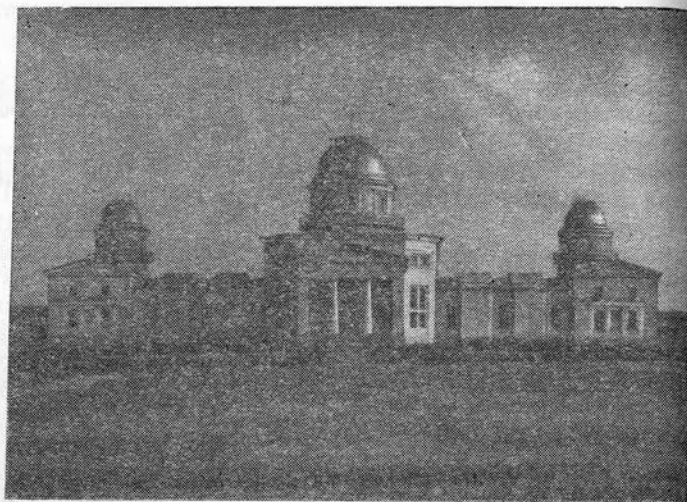


Рис. 41. Главный фасад (северный) восстановленной Пулковской обсерватории — ГАО АН СССР.

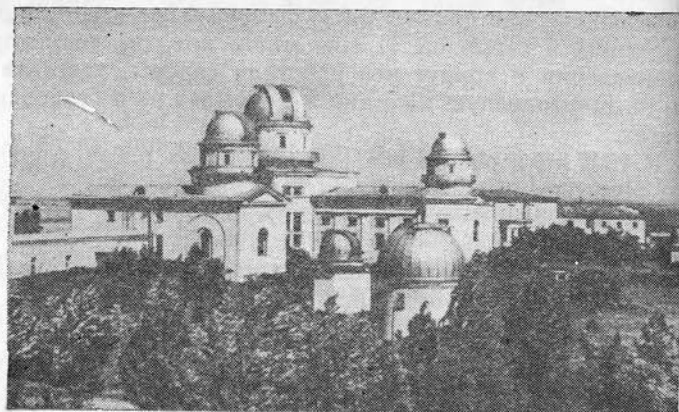


Рис. 42. Вид главного здания Пулковской обсерватории с юго-запада

двойную короткофокусную камеру конструкции Н. Г. Пономарева АКД ($D = 100$ мм, $F = 70$ см) для фотографирования планет и их спутников, хромосферный телескоп для наблюдения Солнца в линии H_{α} ($\lambda = 6563 \text{ \AA}$), менниковый телескоп Максудова МТМ-500 ($D_m = 500$ мм, $F = 650$ см), отражательный экспедиционный телескоп с бесцелевым кварцевым спектрографом системы Мельникова — Иоаннисани ($D = 250$ мм, $F = 75$ см), интерференционный гелиометр и звездный интерферометр, оба — конструкции академика В. П. Линника. Заново был построен горизонтальный солнечный телескоп конструкции Пономарева — Максудова (диаметр зеркал целостата и главного параболического зеркала 500 мм, $F = 1700$ см) и некоторые другие.

В мастерских обсерватории и на заводах Ленинграда были восстановлены старые инструменты: вертикальный круг Эртеля ($D = 150$ мм, $F = 195$ см), большой пассажный инструмент Эртеля ($D = 150$ мм, $F = 260$ см), нормальный астрограф ($D = 330$ мм, $F = 345$ см), зенит-телескоп Фрейберга — Кондратьева ($D = 135$ мм, $F = 175$ см). Вместо меридианного круга Репсоляда, который был передан Николаевскому отделению, поступил более современный меридианный круг Тепфера ($D = 190$ мм, $F = 250$ см).

Силами механиков и оптиков обсерватории были изготовлены новые инструменты оригинальной конструкции: полярная труба конструкции А. А. Михайлова ($D = 200$ мм, $F = 600$ см), на жесткой установке, постоянно направленная на северную полярную область и предназначенная для определения астрономических постоянных, горизонтальный меридианный круг, изобретенный Л. А. Сухаревым ($D = 115$ мм, $F = 160$ см, диаметр плоского зеркала, изготовленного из стали, $D = 180$ мм), внезатменный коронограф системы Калиняка — Прокофьевой для Горной станции в Кисловодске и ряд других приборов.

Меридианные инструменты, да и всё главное здание обсерватории стоят на тех же фундаментах, что и раньше, а центр круглого зала центральной башни по-прежнему является начальной точкой, через которую проходит Пулковский меридиан, начальной точкой всех астрономо-геодезических сетей нашей страны.

Торжественное открытие восстановленной Пулковской обсерватории состоялось в 1954 г.

Несколькими годами позже, в конце 50-х годов, в Пулкове были установлены новый зенит-телескоп ЗТЛ-180 (это «зенит-телескоп ленинградский, с диаметром объектива 180 мм») и фотографическая зенитная

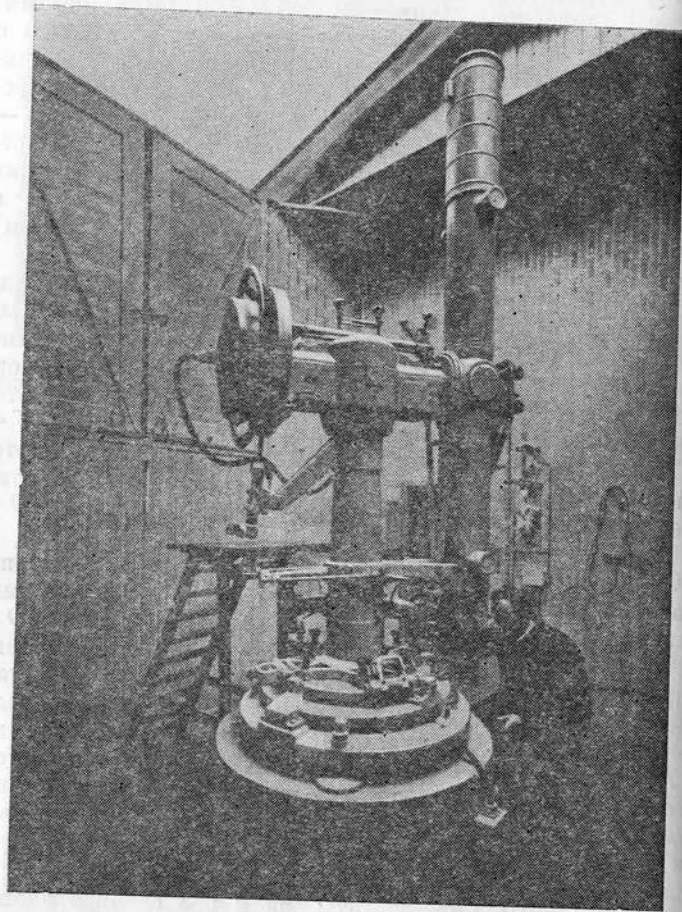


Рис. 43. Новый зенит-телескоп Пулковской обсерватории ЗТЛ-180

труба, инструмент для определения поправок часов и изменямости широты (ФЗТ) ($D = 250$ мм, $F = 400$ см). Впрочем, ФЗТ в Пулкове работала недолго: по программе наблюдений требуются непрерывные наблюдения в течение всего года — замкнутый цикл наблюдений, а в

Ленинграде, как известно, летом стоят белые ночи, во время которых фотографировать звезды невозможно. И после года работы ФЗТ закрыли. Только десять лет спустя ее перенесли на юг, на Международную широтную станцию им. Улугбека в Китабе (в Узбекистане, на широте $39^{\circ}08'$), где уже проводятся наблюдения на двух

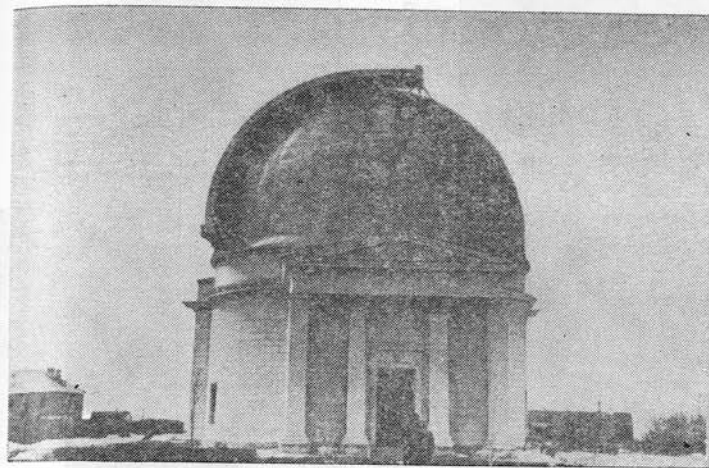


Рис. 44. Башня Пулковского большого длиннофокусного рефрактора

зенит-телескопах. Там в сотрудничестве пулковских и китабских астрономов ФЗТ продолжила свою научную жизнь.

Взамен погибшего большого рефрактора Пулковская обсерватория получила новый большой длиннофокусный рефрактор ($D = 650$ мм, $F = 1050$ см). Он установлен в новой, специально для него построенной башне (рис. 44). Сам длиннофокусный рефрактор показан на рис. 13.

Сегодня на Пулковской обсерватории ведутся астрономические наблюдения по широкой научной тематике. На большом пассажном инструменте, вертикальном круге, меридианном круге Тенфера и горизонтальном меридианном круге Сухарева продолжают традиционные определения точных положений звезд и создаются каталоги абсолютных и относительных координат звезд, причем программа их наблюдений существенно расширена. Силами обсерватории построен новый, оригинальной конструкции меридианный круг системы Л. А. Сухарева.



Рис. 45. Панорама башен и павильонов Пулковской обсерватории; вид с юга

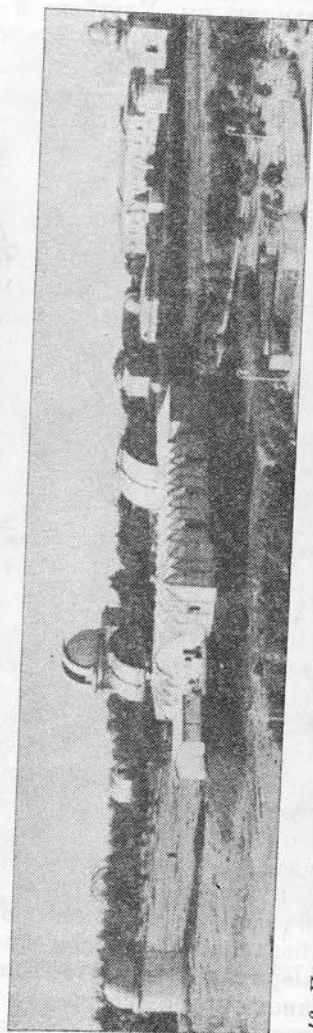


Рис. 46. Панорама башен и павильонов Пулковской обсерватории; вид с востока. В центре павильон горизонтального солнечного телескопа

Кроме самостоятельных наблюдений, ГАО АН СССР проводит изучение и обработку астрометрических каталогов, полученных на других обсерваториях мира. В Пулкове действует советский филиал Центра астрономических данных, проводящий работу по анализу и распространению астрономических данных в нашей стране и за рубежом.

В Пулкове активно работают Служба широты и Служба времени. Здесь действуют старые и новые инструменты: зенит-телескоп Фрейберга — Кондратьева и ЗТЛ-180, малые пассажные инструменты с фотоэлектрической регистрацией и ряд других. Большое внимание уделяется определению фундаментальных постоянных астрономии — постоянных прецессии, нутации и абберации, которые определяются с помощью полярной трубы. На основе современных знаний о строении атмосферы уточнены и вышли новым пятым изданием знаменитые Пулковские таблицы рефракции.

Проводятся регулярные фотографические наблюдения для определения собственных движений звезд, для изучения движения больших планет, их спутников, малых планет, двойных звезд, звезд с темными (невидимыми) спутниками и других интересных объектов. Для этой цели используются нормальный астрограф и новый длиннофокусный астрограф, а также и некоторые другие инструменты.

Физика Солнца и Служба Солнца занимают важное место в работах ГАО АН СССР. Долгое время ими руководил член-корреспондент АН СССР В. А. Крат (1911—1983). Наблюдения ведутся на построенном вновь горизонтальном солнечном телескопе и на некоторых других приборах. В частности, удалось получить уникальные снимки солнечных гранул и хромосферы, в том числе снимки гранул размером около 350 км, что ранее было недостижимо. Значительный объем наблюдений Солнца выполняется на Горной астрономической станции вблизи Кисловодска. Пулково является одним из трех Международных центров (в СССР, США и Франции), которые собирают все наблюдения Солнца. Обсерватория издает ежемесячный бюллетень «Солнечные данные».

В Пулкове создан отдел радиоастрономии. Для него на южном склоне Пулковского холма построен лабораторный корпус, а рядом с ним установлено несколько радиотелескопов, в том числе веерный радиотелескоп с антенной переменного профиля из 90 зеркал-отражателей, расположенных по дуге параболоида с длиной

хорды 120 м, построенный по идее С. Э. Хайкина и Н. Л. Кайдановского. В фокусе параболюида помещается облучатель, соединенный кабелем с приемной аппаратурой в лабораторном корпусе. Наблюдения ведутся в меридиане, а для наведения по высоте соответственно меняется наклон зеркал — отражателей и перемещается облучатель. Пулковский радиотелескоп, работающий на сантиметровых волнах, получил название Большого Пулковского радиотелескопа (БПР). Он послужил прообразом уже описанного выше радиотелескопа РАТАН-600. На радиотелескопах небольшого размера ведутся регулярные наблюдения радиоизлучения Солнца.

Говоря о Пулковской обсерватории, нельзя не упомянуть о его отделе астрономического приборостроения, который возглавлял до своей смерти в 1964 г. Д. Д. Максутов. В этом отделе конструируются и строятся новые астрономические инструменты для самой обсерватории, для ее филиалов и экспедиций, а сотрудники отдела разрабатывают рекомендации и участвуют в создании многих крупных телескопов нашей страны, в том числе и в создании БТА и РАТАН-600.

Как уже отмечалось, условия для наблюдений в Пулкове как из-за близости большого города, так и из-за белых ночей далеки от идеальных. Особенно осложнились условия наблюдений, когда вошел в строй новый большой Ленинградский аэропорт, расположенный всего в нескольких километрах от обсерватории. Он так и называется «аэропорт Пулково». Да и сам Ленинград быстро разрастается и приближается к обсерватории. Поэтому пулковские астрономы стремятся вынести свои инструменты на юг, в горы, где астроклимат лучше.

Для астрометрических наблюдений на базе старинной морской обсерватории в Николаеве действует Николаевское отделение Пулковской обсерватории (НО ГАО АН СССР). Фактически это крупная современная обсерватория, специализирующаяся на астрометрических исследованиях. Как и Пулково, НО ГАО АН СССР имеет большой пассажный инструмент Фрейберга — Кондратьева ($D = 108$ мм, $F = 130$ см), вертикальный круг Репсоляда ($D = 108$ мм, $F = 140$ см), меридианный круг Репсоляда (заказанный еще В. Я. Струве для Пулковской обсерватории, а после войны переданный в Николаев; $D = 150$ мм, $F = 215$ см), фотографический зонный астрограф ($D = 154$ мм, $F = 204$ см, поле $5 \times 5^\circ$), инструменты Службы времени и некоторые другие. Недавно там всту-

пил в действие новый горизонтальный, аксиальный меридианный круг (АМК) конструкции О. Е. Шорникова. Предполагается, что наблюдения на АМК будут на порядок точнее, чем на классических инструментах. Наблюдения в Николаеве существенно дополняют пулковские и получили международное признание.

Для изучения вращения Земли была создана широтная станция в Благовещенске на Амуре, удаленная от

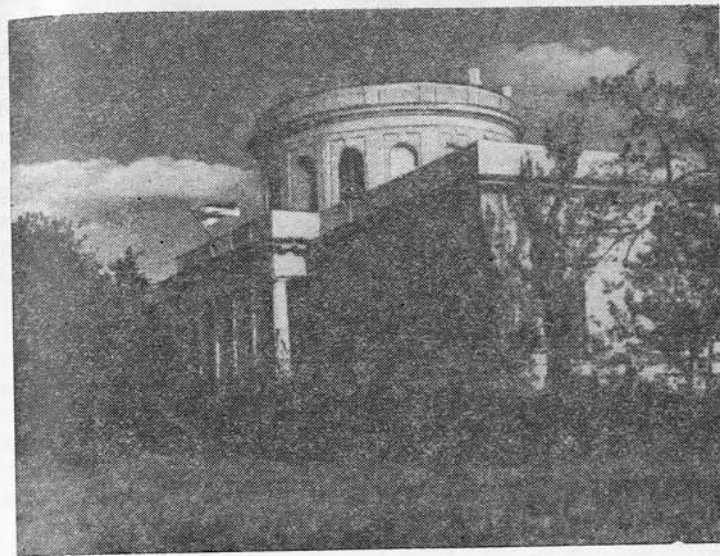


Рис. 47. Главное здание Николаевской обсерватории — НО ГАО АН СССР

Пулкова примерно на 90° по долготе. Там установлен зенит-телескоп ЗТЛ-180, аналогичный пулковскому. В горах Закавказья, близ Ордубада (Нахичеванская АССР) на высоте 2200 м действует постоянная экспедиция Пулковской обсерватории, оснащенная лунно-планетным мерниксовым телескопом и широкоугольным экспедиционным астрографом для фотографирования звездного неба.

Наблюдения Солнца проводятся не только в самом Пулкове. На горе Шат Жад Мас, в 28 км от Кисловодска, на высоте 2070 м, в местности с астроклиматом, благоприятным для наблюдений Солнца (до 337 наблюдательных дней в году), построена Горная астрономи-

ческая станция ГАО АН СССР. Именно в горах, где меньше рассеянного света и небо темнее, легче наблюдать солнечную корону. На станции установлены фотогелиограф системы Максудова, хромосферно-фотосферный телескоп, на котором фотографируется диск Солнца в линии H_{α} и проводятся наблюдения солнечной короны, два внезатменных коронографа, в том числе крупнейший

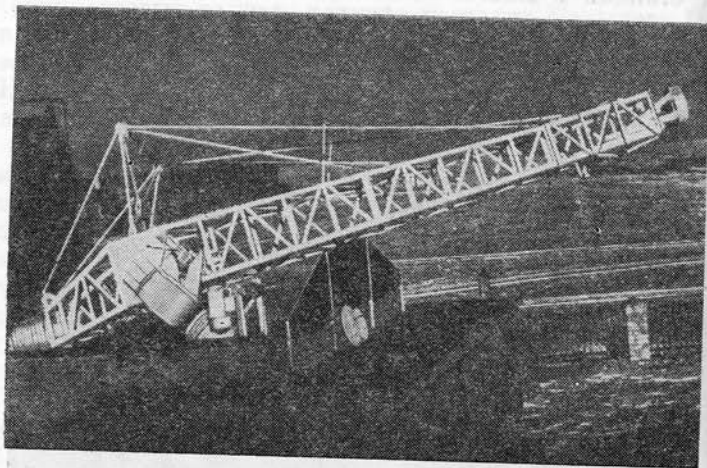


Рис. 48. Большой внезатменный коронограф ИЗМИРАН, установленный на Горной астрономической станции ГАО АН СССР под Кисловодском

в мире с диаметром объектива $D = 530$ мм и $F = 8$ м, позволяющий построить на щели спектрографа изображение в линии водорода H_{α} или в линии кальция К изображение диска Солнца диаметром 125 мм, большой горизонтальный спектрограф с целостатом и зеркалом диаметром $D = 300$ мм и с фокусным расстоянием $F = 17$ м, двухэлементный радиоинтерферометр для длины волны $\lambda = 168$ см и два небольших радиотелескопа, работающих на $\lambda = 2, 3$ и 5 см. Внезатменный коронограф позволяет вести исследования, требующие большого пространственного и спектрального разрешения, при дисперсии $1 \text{ \AA}/\text{мм}$, при спектральном разрешении $0,04 \text{ \AA}$.

Комплекс инструментов, установленных на Горной астрономической станции, делает доступными наблюдения Солнца одновременно в оптическом и радиодиапа-

зонах. При этом, поскольку радиоизлучение разных длин волн идет с разных глубин солнечной атмосферы, а оптические средства позволяют наблюдать фотосферу, хромосферу, протуберанцы и корону, то наблюдения на Горной астрономической станции одновременно охватывают явления, происходящие во всех слоях солнечной атмосферы. Руководит работой станции М. Н. Гневышев.

Для наблюдения южной полусферы неба в Пулкове были организованы экспедиции в южное полушарие. С 1962 по 1972 гг. успешно работала экспедиция ГАО АН СССР в Чили под руководством члена-корреспондента АН СССР М. С. Зверева. Оснащенная пулковским большим пассажным инструментом (ПБИ) и новым менисковым фотографическим вертикальным кругом (ФВК), изготовленным в Пулкове по идеям М. С. Зверева и Д. Д. Максудова, экспедиция располагалась на вершине Серро-Калан, недалеко от Сантьяго. В месте с прекрасным астроклиматом, на горе Робле в 50 км от Сантьяго, был установлен двухменисковый астрометрический астрограф АЗТ-16 конструкции Д. Д. Максудова ($D_m = 700$ мм, $D_s = 1000$ мм, поле $5 \times 5^\circ$). Фашистский путч Пиночета сделал невозможной дальнейшую работу, но за десять лет Пулковская экспедиция собрала богатейший материал, благодаря которому астрономы составили несколько каталогов положений звезд южного неба, недоступного для наблюдений с территории нашей страны. Астрограф АЗТ-16 остался в Чили.

В 1964 г. академик А. А. Михайлов ушел с поста директора ГАО АН СССР, передав эту должность В. А. Крату. В эти годы исследования Солнца получили преимущественное развитие. Был установлен второй горизонтальный солнечный телескоп, стандартный АЦУ-5 с дифракционным спектрографом большой разрешающей силы, позволяющий одновременно регистрировать спектр Солнца в четырех диапазонах длин волн при сканировании диска Солнца от одного края к другому. Была развернута программа стратосферных наблюдений Солнца с помощью телескопов, поднимаемых на баллонах в стратосферу (см. § 42). Один из этих телескопов с зеркалом диаметром 500 мм установлен в 1977 г. на наземной наблюдательной базе на Памире, в Таджикистане, в 300 км к югу от города Ош, близ поселка Мургаб (по шоссе — около 500 км). Здесь, на высоте 4300 м, располагается Памирская экспедиция ГАО АН СССР. Условия наблюдений на такой высоте еще не стратосферные, но уже

отличаются от атмосферных условий в долинах, и сравнение наземных снимков, полученных в таких высокогорных условиях, со стратосферными снимками позволяет получить ценный научный материал.

Позже, в 1979 г., на Памирской наблюдательной базе был установлен рефлектор РМ-700, изготовленный в Пулкове по идеям Д. Д. МаксUTOва (для фотометрических наблюдений).

Важнейшим направлением астрономических исследований ГАО АН СССР продолжает оставаться астрометрия. В частности, разработан план построения фотографического каталога 200 000 звезд южного неба. Для этой

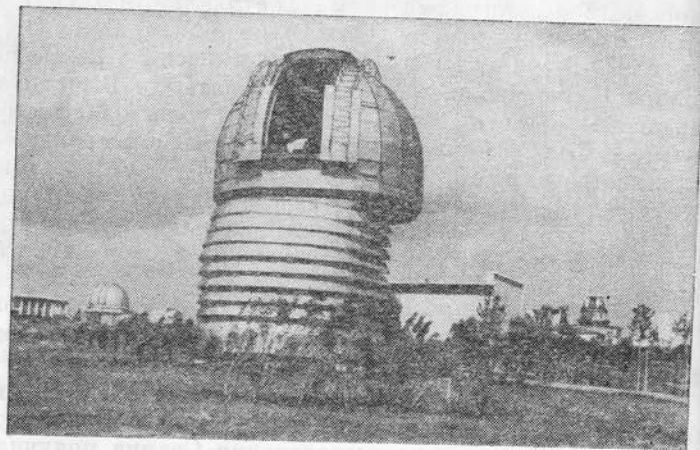


Рис. 49. Башня экспериментального 70-сантиметрового рефлектора РМ-700. Оригинальная конструкция башни обеспечивает ее быстрое охлаждение от дневного обогрева Солнцем

цели в южное полушарие, в Боливию, направлена специальная экспедиция под руководством Х. И. Поттера, снабженная широкоугольным экспедиционным астрографом типа АФР-1 ($D = 230$ мм, $F = 230$ см, поле $6 \times 6^\circ$). За два года работы наблюдательный материал собран практически полностью.

В 1979 г. В. А. Крат оставил пост директора Пулковской обсерватории, а исполнять обязанности директора было поручено К. Н. Тавастшерне (1921—1982), астрометристу по роду своей работы; но, к сожалению, в 1982 г., через два месяца после защиты докторской диссертации,

К. Н. Тавастшерне трагически погиб в автомобильной катастрофе. Директором ГАО АН СССР был назначен энергичный руководитель, лауреат Государственной премии В. К. Абалакин.

В классической позиционной астрономии сложилось специфическое положение, когда возможности существующих астрометрических приборов оказались в основном исчерпанными. Возникла необходимость создать новые типы приборов, обеспечивающих более высокую точность, чем та, которую дают традиционные инструменты. Нужны новые принципы, новые идеи, новые конструктивные решения. И такие новые инструменты начинают создаваться. Фотографический вертикальный круг (ФВК), который возвратили из Чили еще до фашистского путча, был полностью модернизирован и снова введен в действие в 1975 г. Горизонтальный меридианный круг (ГМК) Сухарева заменен на заводской экземпляр; регистрация наблюдений на нем ведется в полностью автоматическом режиме по обеим координатам, точность одного автоматического отсчета кругов доведена до $0,05''$. Классический меридианный круг модернизирован и автоматизирован, на нем установлен активный фотоэлектрический микрометр, основанный на принципе сканирования изображения анализирующей щелью. В результате фактически создан совершенно новый автоматический меридианный круг, получивший наименование МК-200. Работы в этом направлении принимают все более широкий размах.

Более десяти лет работала специальная лаборатория радиоастрометрии. В этой лаборатории, совместно с Ленинградским филиалом (ЛФ) САО, работающим в области радиоастрономии, созданы два комплекса радиоприемной аппаратуры для радиоинтерферометров с астрометрическими целями. С ними ведутся определения координат внегалактических радиоисточников, главным образом квазаров. Позже лаборатория была передана ЛФ САО. Метод РСДБ может применяться также для определения абсолютных координат удаленных радиоисточников и построения инерциальной системы координат. Предполагается, что точность определения координат радиоисточников методом РСДБ может достичь $0,001''$. Создание радиоастрономической инерциальной системы координат, опирающейся на удаленные внегалактические радиоисточники, может явиться базой для решения многих астрометрических задач. Существующая инерциальная система координат, опирающаяся на большее число звезд, еще надолго сох-

ранит свое значение, но более точные радиоастрономические наблюдения послужат для ее улучшения. На этом пути имеются большие теоретические и технические трудности, но решение проблемы находится именно в сочетании классических и новых, в том числе радиоастрономических методов.

Восстановленная и расширенная Пулковская обсерватория — ГАО АН СССР — продолжает оставаться ведущим астрономическим учреждением Советского Союза.

§ 23. Крымская астрофизическая обсерватория

В конце прошлого века стало ясно, что расположение обсерваторий вблизи больших городов создает значительные трудности для астрономических наблюдений. Особенно неудобны они для астрофизических исследований. Поэтому еще в самом начале XX в. пулковские астрономы пришли к решению о создании астрофизического отделения где-нибудь на юге, лучше в Крыму, где климатические условия позволили бы вести наблюдения в течение всего года. В 1906 г. в Крым были направлены сотрудники Пулковской обсерватории А. П. Ганский, выдающийся исследователь Солнца, и Г. А. Тихов, в будущем выдающийся исследователь Марса. Им понравились климатические условия на Крымской Яйле. Там, на горе Кошка, немного выше Симеиза, они неожиданно обнаружили две готовые астрономические башни с куполами, хотя и без телескопов. Оказалось, что эта небольшая обсерватория принадлежит любителю астрономии Н. С. Мальцову. После необходимой переписки Н. С. Мальцов предложил свою обсерваторию в дар Пулковской обсерватории для создания там ее южного астрофизического отделения. В 1908 г. был установлен небольшой двойной астрограф ($D = 120$ мм). Официальное оформление Симеизской обсерватории как филиала Пулковской обсерватории состоялось в 1912 г.

В 1908 г. с помощью астрографа начались регулярные наблюдения малых планет и переменных звезд. К 1925 г. были открыты 37 малых планет, комета и большое число переменных звезд.

После Великой Октябрьской социалистической революции Симеизская обсерватория стала быстро расширяться. Увеличилось число научных сотрудников; среди них в 1925 г. приехали на обсерваторию Г. А. Шайн

(1892—1956) и его жена П. Ф. Шайн. В те годы советские дипломаты, и в их числе выдающийся большевик Л. Б. Красин, добились от капиталистических государств выполнения поставок научного оборудования, заказанного Академией наук еще до революции, и заключили новые договоры. Среди другого оборудования из Англии поступил 102-сантиметровый телескоп — крупнейший рефлектор своего времени в СССР. Под руководством Г. А. Шайна он был установлен на Симеизской обсерватории.

Этот рефлектор был снабжен спектрографом, с помощью которого начались спектральные наблюдения в целях изучения физической природы звезд, их химического состава и происходящих в них процессов.

В 1932 г. обсерватория получила фотогелиограф для фотографирования Солнца. Несколько лет спустя был установлен спектрогелиоскоп — инструмент для изучения поверхности Солнца в линии определенного химического элемента. Тем самым Симеизская обсерватория включилась в большую работу по изучению Солнца, явлений, протекающих на его поверхности, в частности, хромосферных вспышек и их влияния на процессы, происходящие на поверхности и в атмосфере Земли, и приняла участие в Службе Солнца.

Современные инструменты, актуальность научной тематики и энтузиазм ученых принесли Симеизской обсерватории международное признание. Но началась война. Ученые успели эвакуироваться, но немецко-фашистская оккупация нанесла огромный ущерб обсерватории. Здания обсерватории были сожжены, а оборудование расхищено или разрушено. После войны детали метрового телескопа в виде металлолома были обнаружены в Германии, а зеркало пострадало настолько, что восстановить его не представилось возможным.

В 1944 г. Симеизская обсерватория стала восстанавливаться, и в 1946 г. на ней возобновились регулярные наблюдения. Под руководством академика Г. А. Шайна с помощью сверхсветосильной менисковой камеры с диаметром зеркала 640 мм и относительным отверстием $1:1,4$ и светофильтров был выполнен получивший широкую известность цикл исследований газовых эмиссионных туманностей, показавший, что процесс образования звезд и туманностей взаимосвязан. Г. А. Шайн и В. Ф. Газе открыли 150 новых туманностей и составили «Атлас диффузных газовых туманностей». Для этой же цели был

построен первый в нашей стране небулярный спектрограф.

Перед сотрудниками обсерватории снова встал вопрос, уже поднимавшийся перед войной, о необходимости поиска нового места для обсерватории, поскольку небольшая

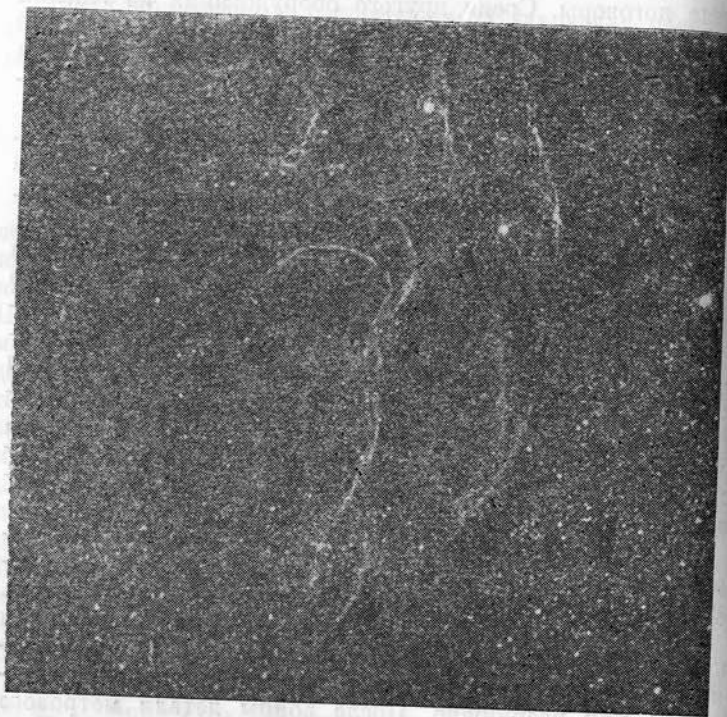


Рис. 50. Пример волокнистой газовой туманности, обнаруженной Г. А. Шайном и В. Ф. Газе в Симензе. Туманность носит название S-147, т. е. Симеиз-147

площадка на горе Кошка, где располагалась обсерватория, ограничивала возможность ее дальнейшего расширения (рис. 51).

И вот одновременно с восстановлением Симеизской обсерватории возобновилась работа экспедиций по поиску места для обсерватории. Правда, область поисков ограничивалась Крымом. А в 1945 г. было вынесено решение о преобразовании обсерватории из филиала Пулковской в самостоятельную организацию — Крымскую астрофи-

зическую обсерваторию АН СССР (КрАО). С этой даты, собственно, и начинается история КрАО.

По результатам ряда астроклиматических экспедиций новое место для обсерватории было выбрано в горах, в 12 км к востоку от Бахчисарая (по шоссе — около 30 км), подальше от освещенных городов южного берега



Рис. 51. Общий вид Симеизской обсерватории в 50-х годах

Крыма, от Севастополя и Симферополя. Принималось в расчет и то, что вершины Яйлы защитят обсерваторию от неблагоприятных южных ветров. Здесь на небольшой плоской вершине, на высоте 600 м над уровнем моря, началось строительство обсерватории и научного городка, так и названного — поселок Научный.

На месте старой обсерватории в Симензе сейчас развита Симеизская экспериментальная станция Астрономического Совета АН СССР, на которой размещены несколько камер для наблюдений ИСЗ, лазерная установка «Интеркосмос» для определения дальности до спутников и 60-сантиметровый рефлектор Цейса. Ведется монтаж цейсовского рефлектора с зеркалом диаметром в 1 м.

Работы по строительству новой обсерватории велись под руководством Г. А. Шайна, который был первым директором КрАО вплоть до 1952 г.

Крымская астрофизическая обсерватория получила многочисленный парк первоклассных инструментов. Первым был установлен двойной 40-сантиметровый астрограф Цейса ($D = 40$ см, $F = 1,6$ м). На нем производятся разнообразные астрометрические и звездно-астрономические наблюдения, но главным образом — поиск и открытия малых планет и комет. Взамен погибшего во время войны

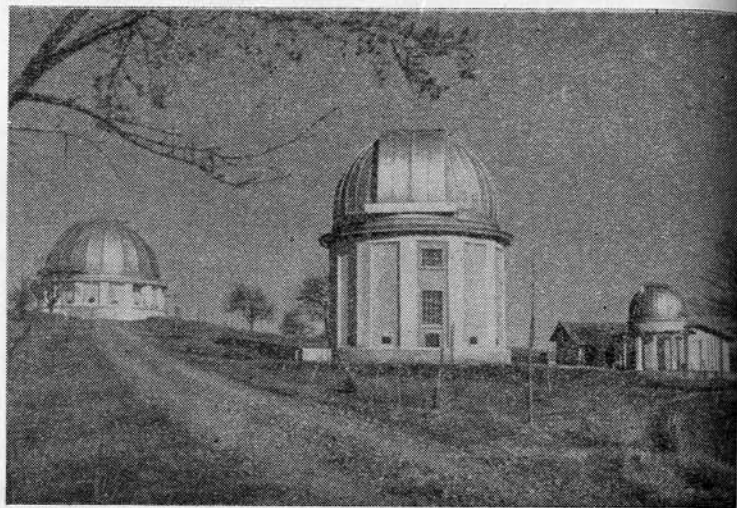


Рис. 52. Купола и башни первых телескопов КрАО: слева — 122-сантиметровый рефлектор Цейса, в центре — двойной широкоугольный астрограф, справа — менисковый телескоп МТМ-500. Сейчас такой снимок получить нельзя: слабые прутики, видимые на снимке, разрослись, превратились в могучие деревья и заслонили башни

метрового рефлектора был установлен дейсовский рефлектор с диаметром зеркала 122 см. На нем были продолжены наблюдения спектров звезд в целях исследования физических процессов в их атмосферах, начатые еще в Симеизе. Был установлен менисковый телескоп Максудова МТМ-500 с зеркалом диаметром 500 мм, в котором, по схеме куда, лучи направляются в короткую полярную ось, на южном конце которой располагается светоприемная аппаратура — стационарно, не меняя своего положения при наведении телескопа на различные области неба (рис. 53).

Кроме работ, связанных с наблюдениями по программе Службы Солнца, для которых использовались спектрогелиограф и внеатомный коронограф Лио, в КрАО развернулись обстоятельные работы по изучению физики

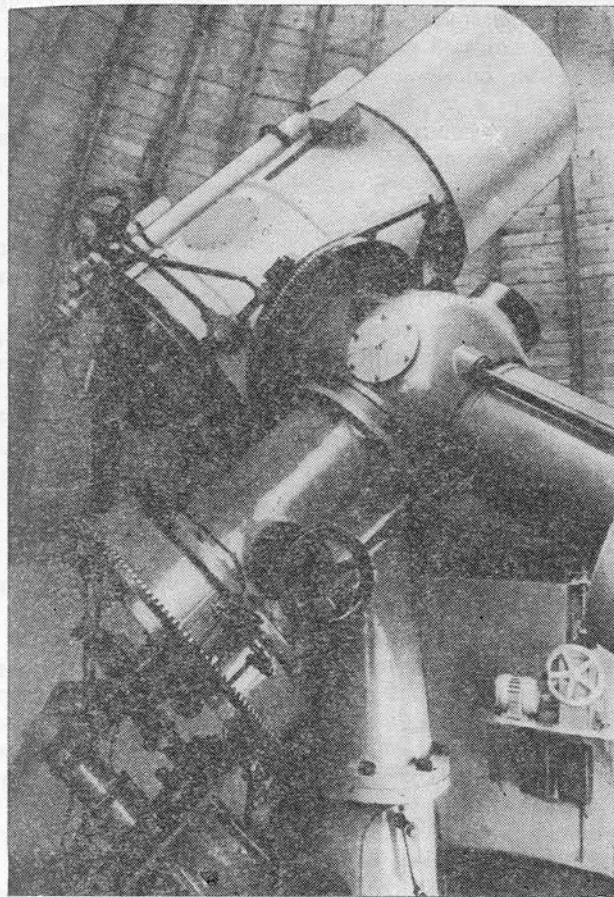


Рис. 53. Менисковый телескоп Максудова МТМ-500 Крымской астрофизической обсерватории

Солнца. Для коронографа впервые в СССР по идее А. Б. Северного, совместно с Институтом кристаллографии АН СССР, был изготовлен интерференционно-поляризационный фильтр с полосой пропускания $0,5 \text{ \AA}$, по-

зволяющий наблюдать и кинематографировать хромосферу по всему диску и запечатлевать причудливую форму протуберанцев.

В 1954 г. был введен в строй башенный солнечный телескоп (БСТ), с башней высотой 15 м (с целостатом с диаметром зеркала 70 см и диаметром главного зеркала 40 см), снабженный разнообразной приемной аппаратурой для изучения спектра поверхности Солнца, магнитных полей на нем и других активных образований. В целях изучения солнечно-земных связей был создан комплекс приборов для исследования атмосферы, ионосферы и регистрации изменений в магнитном поле Земли. Параллельно с оптическими наблюдениями Солнца в те же годы начали проводить радиоастрономические наблюдения: было построено несколько небольших радиотелескопов и запланировано строительство более крупных.

С 1952 г. директором КрАО был А. Б. Северный (1913—1987) — крупный ученый, Герой Социалистического Труда, академик АН СССР с 1968 г. Его научные интересы охватывали широкий круг астрономических проблем. Под руководством А. Б. Северного постепенно выкристаллизовались основные научные направления в работе обсерватории — изучение нестационарных процессов на Солнце, в звездах или галактиках. Особое внимание он уделял исследованию вспышек на Солнце, их строению и физической природе, их связи со структурой и изменчивостью магнитных полей на Солнце.

По инициативе А. Б. Северного был построен уже упомянутый БСТ, который в 70-х годах был модернизирован. На нем были установлены более крупные зеркала из ситалла, не подверженные температурным деформациям. Зеркало целостата имеет диаметр $D_{\text{ц}} = 120$ см, дополнительное плоское зеркало $D_{\text{д}} = 110$ см, главное вогнутое зеркало $D_{\text{г}} = 100$ см. Зеркала и их оправы были изготовлены в мастерских КрАО. Если до реконструкции использовались фокусные расстояния $F_1 = 12$ м, $F_2 = 21$ м и $F_3 = 35$ м, то после реконструкции оказалось возможным получить $F_1 = 50$ и $F_2 = 70$ м. Тем самым возросла разрешающая способность БСТ и стало возможным различать детали до $0,3-0,5''$, что соответствует на поверхности Солнца 200—400 км. При этом пришлось нарастить башню БСТ на десять метров; после реконструкции ее высота достигла 25 м.

Механические конструкции и оптика старого БСТ после перестройки были использованы для строительства

еще одного башенного телескопа (БСТ-2), ситалловые зеркала для которого были изготовлены также в оптической мастерской КрАО.

Важным событием в истории обсерватории явилась установка в 1961 г. большого рефлектора с диаметром



Рис. 54. Башенный солнечный телескоп Крымской астрофизической обсерватории (БСТ). Вид после реконструкции

зеркала 2,6 м, изготовленного ленинградским объединением ЛОМО (рис. 55), который стал крупнейшим в Советском Союзе и в Европе в те годы. Телескоп был назван именем Г. А. Шайна — ЗТШ. Да и сегодня, наряду с 6-метровым телескопом БТА и другим таким же

2,6-метровым телескопом Бюраканской обсерватории, он входит в тройку самых больших телескопов СССР, время

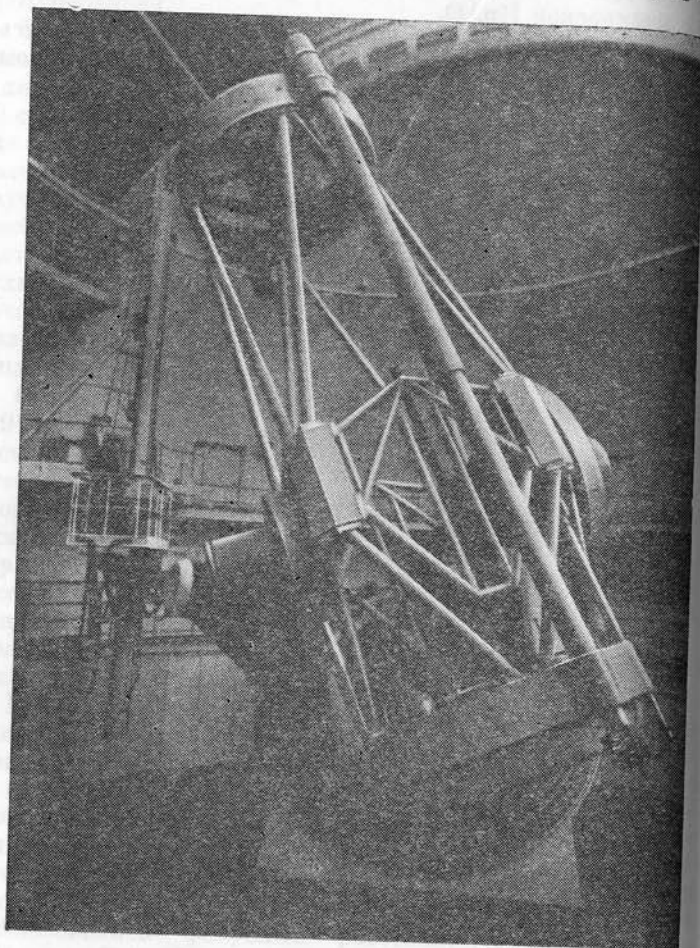


Рис. 55. 2,6-метровый рефлексор ЗТШ Крымской астрофизической обсерватории

наблюдений на которых распределяется Комитетом Академии наук. Телескоп ЗТШ снабжен разнообразной приемной аппаратурой и большим спектрографом в фокусе кудэ (рис. 56).

В 80-х годах отдел физики звезд и туманностей получил в свое распоряжение еще один крупный инструмент — зеркальный телескоп АЗТ-11 (диаметр главного

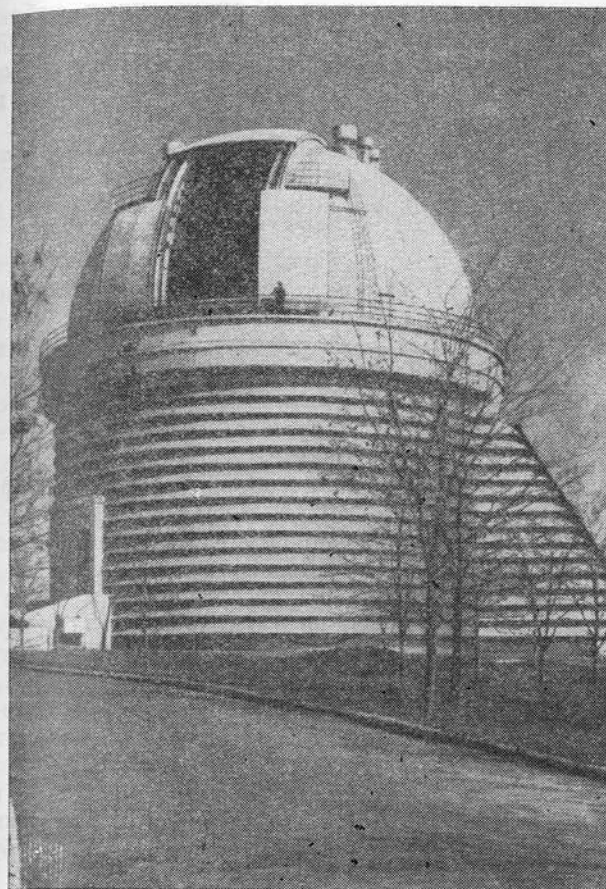


Рис. 56. Башня ЗТШ. Выступ справа соответствует оптическому каналу схемы кудэ

зеркала $D = 125$ см), на котором начались фотометрические, поляризационные и спектральные наблюдения звезд. Этот инструмент относится к новому поколению телескопов, отличительной чертой которых является пол-

ная автоматизация как управления телескопом, так и регистрации результатов наблюдений.

Дальнейшее развитие получила в КрАО радиоастрономия, особенно исследования радиоизлучения Солнца, которые ведутся параллельно с оптическими наблюдениями на БСТ. Место для нового радиотелескопа было выбрано в Голубом заливе, на берегу Черного моря к западу от горы Кошки. На юг от наблюдательной площадки — открытое море, где меньше радиопомех, с севера, востока и запада площадка экранирована Крымскими горами. Здесь и был построен большой радиотелескоп РТ-22 с параболической антенной в виде чаши диаметром в 22 м, на азимутальной монтировке (рис. 57). Точность изготовления параболической чаши соответствует критерию Рэлея и равна 0,2 мм. Радиотелескоп может наводиться с помощью управляющей ЭВМ в любую точку неба и сопровождать наблюдаемый объект длительное время. Точность наведения около 15". Радиотелескоп РТ-22 стал мощным средством радиоастрономических исследований. Часто он работает в паре с таким же по конструкции и размерам радиотелескопом РТ-22 в Пущине, под Москвой. Вместе они образуют радиоинтерферометр со сверхдлинной базой (РСДБ), что позволяет повысить разрешающую способность радиоастрономических наблюдений до 0,002" на длине волны $\lambda = 1,35$ см.

Более пятнадцати лет на обсерватории ведутся наземные наблюдения гамма-излучения высоких энергий. Для его регистрации первоначально использовалась установка из четырех прожекторных зеркал диаметром 1,5 м каждое. Сейчас собран новый мощный автоматизированный гамма-телескоп, состоящий из 48 зеркал диаметром 1,2 м, объединенных в группы по 4 зеркала с фотоэлектрическим светоприемником, смонтированных в виде двух одинаковых секций по 24 зеркала, на альт-азимутальной монтировке каждая. Подробнее об этом будет рассказано в § 38.

В КрАО, по традиции, продолжаются регулярные поиски малых планет и определяются их положения. Руководит этой работой Н. С. Черных. Мало просто отметить новую малую планету на снимке. Нужно несколько наблюдений — по меньшей мере три, чтобы определить ее орбиту. Затем по этой предварительной орбите предвычисляют следующее прохождение малой планеты вблизи Земли — это примерно через 4—5 лет. И только после того, как малая планета наблюдается при втором

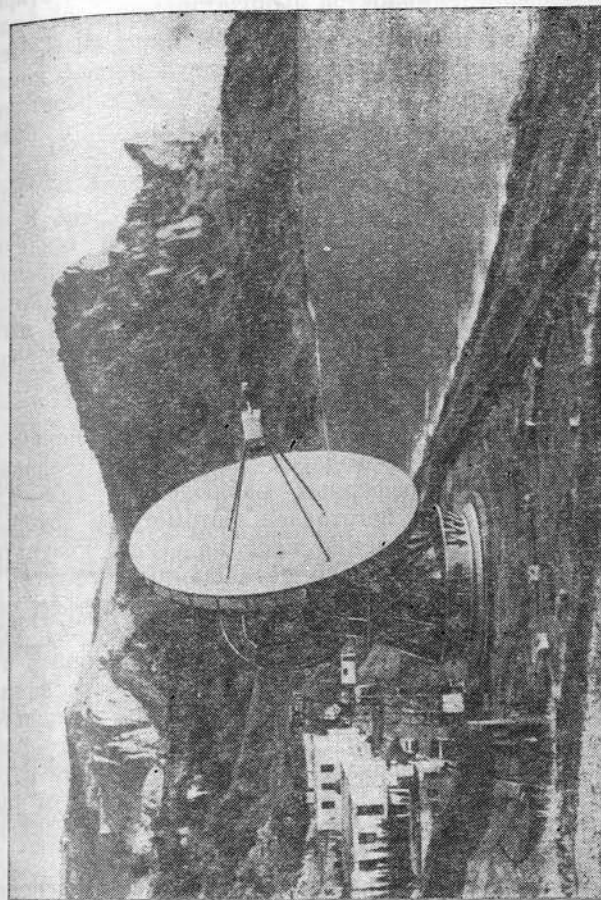


Рис. 57. Радиотелескоп РТ-22 Крымской астрофизической обсерватории, расположенный в Голубом заливе, у подножья горы Кошки.

прохождении, будет проверена и уточнена ее орбита, малая планета заносится в общий каталог, получает имя и номер. В данное время известно более 2800 зарегистрированных малых планет, т. е. таких планет, для которых определены орбиты и которым даны названия и присвоен порядковый номер. Доля КрАО в подобных открытиях составляет более 30% от общего числа малых планет, открываемых в наши годы во всем мире. Н. С. Черныху принадлежит также открытие двух новых комет, которые и получили свое название по имени первооткрывателей. А всего в КрАО и Симеизе открыто более 360 малых планет.

Почти со времени ее создания на Крымской обсерватории образована экспериментальная лаборатория, в которой ведется разработка, конструирование и создание новых приборов, поиски принципиально новых, перспективных телескопов, оптических устройств, приемников излучения. Много времени уделяется разработке и изготовлению приемников излучения типа матриц с зарядовой связью (ПЗС-матриц) и применению для работы с такими приемниками компьютерных устройств.

С момента запуска первого ИСЗ в отделе экспериментальной астрофизики проводятся работы по созданию приборов для внеатмосферных наблюдений. Так, для АМС «Луноход-2» был изготовлен фотометр, с которым велась регистрация излучения неба на Луне. Результаты этих измерений были несколько неожиданными: яркость дневного, и ночного неба оказалась гораздо сильнее, чем ожидалось. Для космической станции «Салют-4» был спроектирован и изготовлен орбитальный солнечный телескоп «ОСТ-1», с которым вели наблюдения два экипажа космической станции. Был построен ультрафиолетовый космический телескоп для космической станции «Астрон» с диаметром зеркала 80 см, в разработке которого принимали участие и другие учреждения, в том числе зарубежные. Станция «Астрон» успешно работает на орбите уже более четырех лет.

В отделе ведутся поиски путей развития телескопов следующих поколений с составной, автоматически управляемой оптической системой, так называемых многозеркальных телескопов. С 1978 г. действует экспериментальный телескоп АСТ-1200, главное зеркало которого диаметром 1,2 м состоит из семи отдельных элементов. Разрабатывается проект составного многозеркального телескопа общим диаметром 25 м,

Во всех перечисленных областях астрономии Крымская астрофизическая обсерватория является ведущим астрономическим учреждением нашей страны и признанным международным авторитетом.

§ 24. Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга (Московская обсерватория)

В Москве, на Ленинских горах, недалеко от нового здания МГУ, вблизи перекрестка проспекта Вернадского и Университетского проспекта, в глубине тенистого парка расположено трехэтажное здание с четырьмя астрономическими башнями на крыше. Рядом с ним рассыпались в парке девять башен и павильонов различных астрономических инструментов. Это ГАИШ — астрономическая обсерватория Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова.

Московская обсерватория была построена в 1831 г. на окраине Москвы, в районе Пресни. В начале XX в. это было хорошо оснащенное астрономическое учреждение. Обсерватория имела меридианный круг, длиннофокусный астрограф ($D = 38$ см, $F = 6,4$ м), широкоугольную экваториальную камеру ($D = 16$ см, $F = 0,82$ м), пассажный инструмент и несколько небольших инструментов. На ней велись меридианные и фотографические определения положений звезд, поиски и исследования переменных звезд, изучение двойных звезд; изучалась изменчивость широты и методика астрофотометрических наблюдений.

На обсерватории работали выдающиеся ученые: Ф. А. Бредихин (1831—1904), В. К. Цераский (1849—1925), П. К. Штернберг (1865—1920). Павел Карлович Штернберг — выдающийся ученый, профессор, пламенный большевик и революционер. Он был директором Московской обсерватории с 1916 года, но еще раньше, с 1905 г., он стал членом РСДРП и принял участие в работе финансовой комиссии и Военно-технического бюро Московского комитета партии. На протяжении многих лет П. К. Штернберг вел конспиративную работу. С началом февральской революции 1917 г. он полностью включился в работу Московского комитета, был членом Центрального штаба Красной Гвардии при Моссовете. В ходе октябрьских боев он возглавил революционные силы Замоскворецкого района. После Великой Октябрьской социалистической революции П. К. Штернберг был

избран членом коллегии Наркомпроса, заведующим делов вузов. Осенью 1918 г. П. К. Штернберг назначается членом Реввоенсовета 2-й армии Восточного фронта — членом Реввоенсовета Восточного фронта и принимает активное участие в разгроме белогвардейской армии Колчака и установлении Советской власти в Сибири. В декабре 1919 г., в ходе боевых действий, при переправе через Обь, лед которой был накануне поврежден артиллерийским огнем, автомобиль, в котором ехал Штернберг, провалился под лед. Все остались живы, но ледяное купание не прошло даром. У Штернберга начался сильный плеврит. Он был эвакуирован в Москву, но лечение не помогло, и 31 января 1920 г. он скончался.

Великая Октябрьская социалистическая революция дала мощный импульс развитию науки. Возникли многие новые научные учреждения и институты. Уже в марте 1921 г. в Москве был образован Государственный астрофизический институт (ГАФИ), директором которого стал В. Г. Фесенков (1889—1972), впоследствии — академик АН СССР. В 1922 г. при физико-математическом факультете Московского университета был организован Астрономо-геодезический научно-исследовательский институт (АГНИИ), директором которого был назначен проф. С. Н. Блажко (1870—1956), впоследствии член-корреспондент АН СССР.

В 1931 г. постановлением Наркомпроса на базе Московской астрономической обсерватории были объединены три астрономических учреждения: созданные после революции Государственный астрофизический институт, Астрономо-геодезический научно-исследовательский институт и собственно Московская астрономическая обсерватория. С 1932 г. объединенный институт, входящий в систему Московского государственного университета, стал именоваться Государственным астрономическим институтом им. П. К. Штернберга, сокращенно ГАИШ.

Сильный, по тем временам многочисленный, коллектив молодых энтузиастов обеспечил бурное развитие научной, педагогической и популяризаторской деятельности. Проводились исследования по космологии и небесной механике, изучение Галактики и переменных звезд, определения точных положений звезд, астрофизические исследования физики звезд и Солнца, комет и метеоров, продолжались работы по изучению геоида и велись гравиметрические экспедиции, в том числе морские на под-

водной лодке. Была образована Служба времени, и с 1931 г. стали вестись передачи сигналов точного времени. Именно в эти годы были начаты основополагающие работы по звездной астрономии, астрофизике, астрометрии, небесной механике и гравиметрии, заложившие основы для дальнейшей успешной деятельности ГАИШ.

Вероломное вторжение немецко-фашистских захватчиков явилось суровым испытанием для советского народа. Война нарушила нормальный ритм работы астрономических учреждений. Была разрушена Пулковская обсерватория, прекратили работу обсерватории, оказавшиеся на временно оккупированной территории. А стране и армии были нужны астрономические данные, в первую очередь — точное время.

Служба времени ГАИШ была эвакуирована в Свердловск. В трудных условиях военного времени сотрудники ГАИШ организованно и быстро перебросили и установили пассажные инструменты, астрономические часы, радиоаппаратуру, начали наблюдения и ежедневную подачу радиосигналов точного времени. Вместо семи Служб времени мирного времени работали только три: Служба времени ГАИШ, ЦНИИГАиК, эвакуированная в Джамбул, и Служба времени Ташкентской обсерватории. Работа службы времени ГАИШ проходила на более высоком уровне, чем до этого в Москве: количество наблюдений на пассажных инструментах увеличилось в 4—5 раз, точность их повысилась, точность сигналов, передаваемых по радио, возросла в несколько раз. Астрономы ГАИШ взяли на себя трудную и ответственную задачу вычисления сводных моментов подач ритмических сигналов, которую до этого выполняла Пулковская обсерватория. Была создана Служба Солнца, проводившая ежедневные наблюдения солнечной активности и составлявшая прогноз «радиопогоды» и магнитных возмущений. Остальные сотрудники ГАИШ также выполняли важные для военного времени работы.

Вскоре после окончания Великой Отечественной войны было принято решение о строительстве комплекса зданий Московского государственного университета на Ленинских горах, предусматривавшее расширение учебной и научной деятельности всех его факультетов и институтов, в том числе ГАИШ (рис. 58).

В 1954 г. совместно со строительством нового здания МГУ были построены здания для астрономической обсерватории. ГАИШ получил новые инструменты, первые

крупные телескопы, изготовленные по техническим заданиям московских астрономов оптико-механическим заводом в Ленинграде (ныне ЛОМО). На Ленинских горах были установлены новый меридианный круг, зенит-телескоп ЗТЛ-180, широкоугольный астрограф АФР-1 ($D = 23$ см, $F = 2,3$ м), параболический рефлектор АЗТ-2 с диаметром зеркала 70 см, телескоп системы Максутова

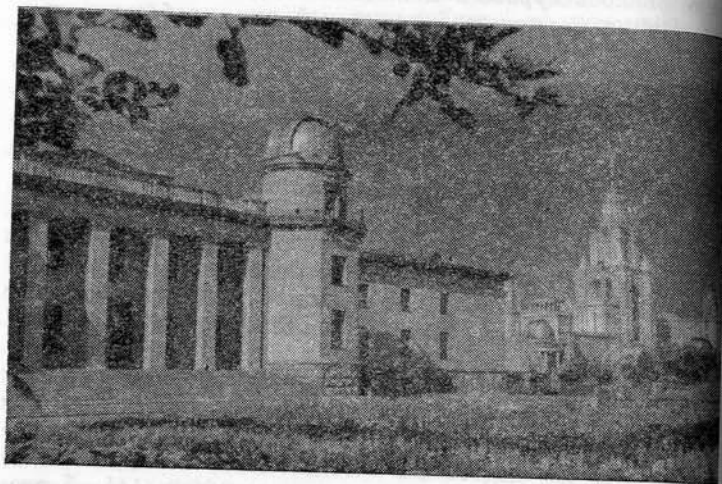


Рис. 58. Новое здание Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга на Ленинских горах в Москве

с диаметром мениска $D_m = 50$ см и зеркала $D_s = 70$ см, фотографическая зенитная труба ($D = 250$ мм, $F = 4$ м), горизонтальный и башенный солнечные телескопы и целый ряд других меньших инструментов и вспомогательное оборудование. Вокруг обсерватории разросся тенистый парк (рис. 59).

Сначала новое здание ГАИШ было как бы на окраине Москвы. Но вследствие быстрого роста города его вскоре окружили высокие здания и широкие, ярко освещенные проспекты. Вести астрофизические наблюдения здесь стало невозможно, да и установка крупных или светосильных инструментов не была предусмотрена. Уже в 1957 г. была организована постоянно действующая высокогорная станция ГАИШ в 50 км от Алма-Аты, на высоте 3000 м, на которой были установлены горизонтальный солнечный телескоп ($D = 300$ мм, $F = 15$ м) с ди-

фракционным спектрографом, рефлектор куда фирмы «Оптон» ($D = 150$ мм, $F = 2,25$ м) для наблюдений Солнца в спектральной линии H_α , внеатмосферный коронограф системы Лно, а также два рефлектора АЗТ-14 ($D = 480$ мм, $F = 7,7$ м) для спектрофотометрических, фотометрических и телевизионных наблюдений.

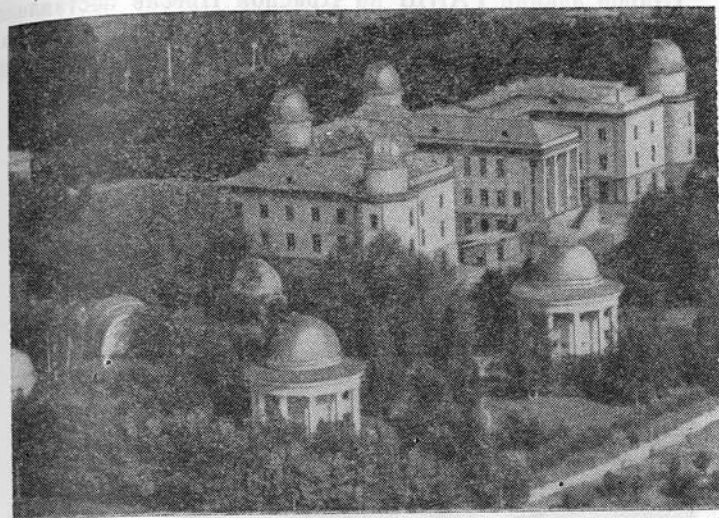


Рис. 59. Общий вид Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга (ГАИШ)

В 1958 г. начала действовать Южная наблюдательная станция ГАИШ в Крыму, расположенная на той же вершине близ села Прохладное, что и КРАО. Там фактически возникла вторая, хорошо оснащенная астрономическая обсерватория. На ней установлены рефлектор ($D = 125$ см, $F = 5$ м), изготовленный на ЛОМО, два 60-сантиметровых рефлектора ($D = 600$ мм, $F = 7,5$ м) Цейса (ГДР), а также менисковый телескоп Максутова ($D_m = 500$ мм, $D_s = 700$ мм, $F = 2$ м) и широкоугольный астрограф фирмы Цейс ($D = 40$ см, $F = 1,6$ м), перенесенные из Москвы.

Для развития радиоастрономических наблюдений ГАИШ принял долевое участие в создании крупнейшего радиотелескопа РАТАН-600. ГАИШ, создав на этом инструменте свою лабораторию, получил тем самым в свое

распоряжение радиоастрономическую наблюдательную базу, где ведется фундаментальный обзор радионеба на нескольких длинах волн.

Кроме того, ГАИШ ведет строительство новой наблюдательной базы в Средней Азии на высоте 2500 м на горе Майданак (см. с. 160).

Старое здание ГАИШ на Красной Пресне поставлено на государственную охрану как памятник архитектуры и науки. Там размещены лаборатории радиоастрономии,

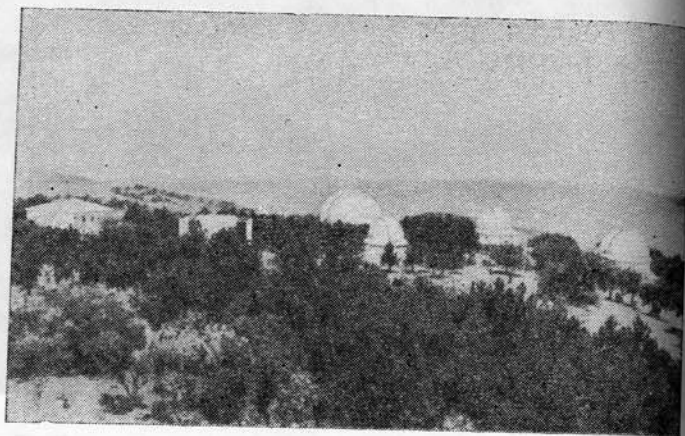


Рис. 60. Общий вид Южной станции ГАИШ в Крыму

астрометрии, истории астрономии МГУ и опорный гравиметрический пункт СССР. Из телескопов там остался 38-сантиметровый длиннофокусный рефрактор ($D = 380$ мм, $F = 640$ см), рассматриваемый как историческая реликвия.

Запуск первого в мире советского искусственного спутника Земли в 1957 г. поставил новые задачи и перед астрономами ГАИШ. В марте 1959 г. ГАИШ посетил С. П. Королев. Он осмотрел фотографические установки для наблюдения ИСЗ и обсудил с астрономами ГАИШ различные задачи, которые могли бы быть решены астрономическими методами.

С тех пор сотрудники ГАИШ создали аппаратуру и участвовали в экспериментах на двух высотных ракетах, на десяти искусственных спутниках Земли, на четырнад-

цати автоматических межпланетных станциях и на двух орбитальных космических станциях.

За послевоенные десятилетия сотрудники ГАИШ вели и ведут исследования практически по всем направлениям современной астрономии, от классической фундаментальной астрометрии и небесной механики до теоре-

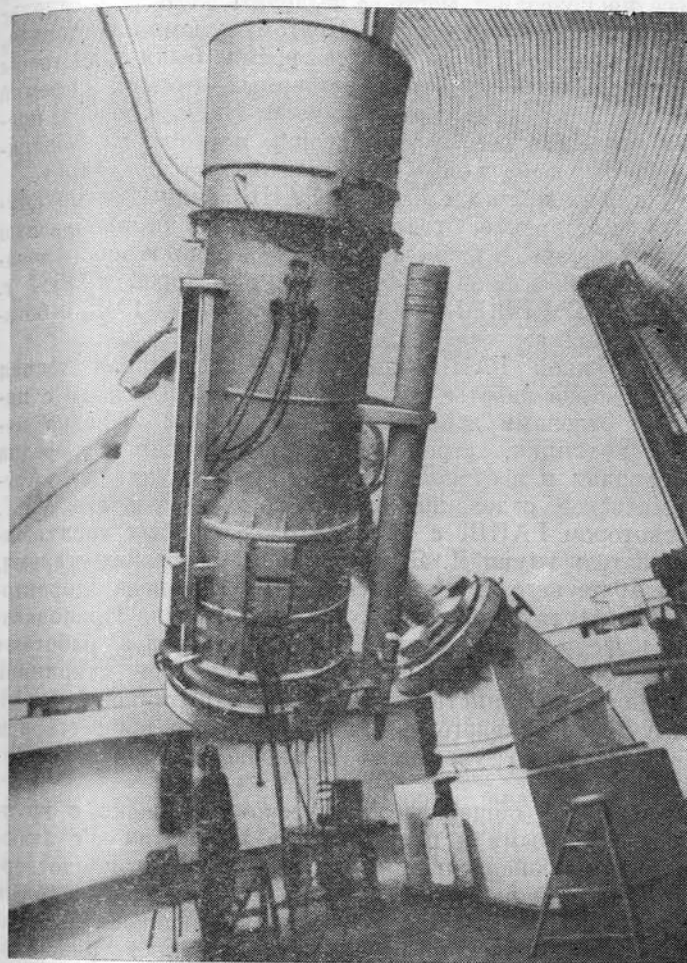


Рис. 61. Главный инструмент Южной станции ГАИШ: 125-сантиметровый рефлектор ЗТЭ, первенец крупного телескопостроения в СССР

тической астрофизики и космологии. По многим из научных направлений, например, по внегалактической астрономии, исследованию нестационарных объектов и строению нашей Галактики ГАИШ занимает ведущее место среди астрономических учреждений нашей страны. В ГАИШ 22 крупных научных подразделения, и в каждом из них получены важные результаты. Перечислить их все не позволяет место, а выделять кого-либо отдельно было бы несправедливо. Поэтому упомянем только, что ученые ГАИШ в разное время были удостоены Ленинской премии, Государственных премий, премий им. Ф. А. Бредихина, премии им. М. В. Ломоносова, премии Ленинского комсомола, а также награждены медалями «За открытие новых астрономических объектов».

Важными подразделениями ГАИШ являются механические мастерские, где изготавливаются разнообразные вспомогательные приборы и экспедиционное оборудование, вычислительная лаборатория, в которой в 1987 г. заменили ЭВМ БЭСМ-4 не более мощную ЕС-1045, и богатая библиотека.

Спецификой ГАИШ является традиционная тесная связь научной работы с учебным процессом. Рядом с научными отделами действуют две кафедры: кафедра небесной механики, астрометрии и гравиметрии и кафедра астрофизики и звездной астрономии, составляющие Астрономическое отделение физического факультета МГУ. Директором ГАИШ с 1956 по 1976 гг. был заслуженный деятель науки Д. Я. Мартынов. В настоящее время, после 10-летнего директорства Е. П. Аксенова, директором института назначен А. М. Черепашук. Преподаватели кафедр и сотрудники научных отделов работают бок о бок — их столы стоят рядом. По старинной традиции большинство научных сотрудников принимает участие в педагогическом процессе, а профессора и доценты активно участвуют в наблюдениях и исследованиях.

Постоянное общение студенческой молодежи с крупнейшими учеными и педагогами, а последних — с любознательной и энергичной молодежью, создает плодотворную почву для рождения новых идей, проведения новых интересных исследований. Наиболее выдающиеся выпускники астрономического отделения пополняют ряды сотрудников, поэтому ГАИШ, несмотря на свой более чем 150-летний «возраст», остается всегда молодым, полным свежих сил, развивающимся учреждением.

§ 25. Главная астрономическая обсерватория АН УССР

Еще во время войны, в июне 1944 г., была утверждена новая структура Академии наук УССР, в которой была предусмотрена Главная астрономическая обсерватория (ГАО АН УССР). Место для нее было отведено на южной окраине Киева, в Голосеевском лесу, в 5—6 км к западу от Днепра. По месту расположения она часто



Рис. 62. Главное здание Голосеевской обсерватории (ГАО АН УССР)

называется «Голосеевской» обсерваторией. Вокруг обсерватории простирается защитная парковая зона радиусом более километра. Обсерватория была открыта в 1949 г. Первым директором ГАО АН УССР стал академик АН УССР А. Я. Орлов (1880—1954). Основным направлением деятельности обсерватории сначала считалась астрометрия, но с годами обсерватория превратилась в научно-исследовательский астрономический институт с разнообразной тематикой работ.

В ГАО АН УССР (рис. 62) ведутся исследования вращения Земли методами астрометрии и космической геодезии (она является координирующей организацией по проблеме «Изучение вращения Земли» в нашей стране), работы по фундаментальной и фотографической астрометрии, ведется изучение физики Солнца, физики

планет и Луны. Важным направлением является наблюдательная астрофизика — исследования нестационарных и новых звезд, изучение физики галактических комплексов.

Первыми инструментами обсерватории, установленными в 1948 г., были следующие: 1. Тройной длиннофокусный астрограф Тёпфера. Сначала он был двойным и имел два объектива: фотографический ($D = 400$ мм, $F = 550$ см), позволяющий получать снимки на поле $2,5 \times 2,5^\circ$, и визуальный, немного меньший; позже, в 1970 г., предприятие Цейс (ГДР) изготовило фотовизуальный объектив ($D = 380$ мм, $F = 550$ см), при этом все три трубы соединены в общий пакет и опираются на одну монтировку. Он активно используется для фотографирования малых планет, для привязки фундаментальных собственных движений звезд к далеким галактикам. 2. Двойная короткофокусная камера АКД конструкции Н. Г. Пономарева ($D = 120$ мм, $F = 70$ см). 3. Вертикальный круг Ваншаффа для определения абсолютных склонений фундаментальных звезд ($D = 190$ мм, $F = 252$ см) (см. рис. 25).

В 50-х годах, когда обсерваторию возглавил А. А. Яковкин (1887—1974), начались исследования фигуры и рельефа Луны и изучение Солнца. Для этих целей ГАО АН УССР располагает горизонтальным лунным телескопом ($D = 200$ мм, $F = 1200$ см), стандартным солнечным горизонтальным телескопом АЦУ-5 ($D = 44$ см, $F = 1750$ см) и хромосферно-фотосферным телескопом АФР-2. В 1959 г. в отдельной башне был установлен 70-сантиметровый рефлектор АЗТ-2 (аналогичный московскому), а также ряд телескопов меньшего размера.

Но уже скоро сотрудники обсерватории столкнулись с общим явлением, характерным для обсерватории на окраине большого, растущего города, условия наблюдения на которой ухудшаются с каждым десятилетием. Довольно скоро встал вопрос о строительстве наблюдательной горной станции. Уже в 1970 г. было начато строительство Высокогорной наблюдательной базы ГАО АН УССР. Первоначально предполагалось строить ее на территории УССР, в Карпатах, но после ряда экспедиций по исследованию астроклимата, в которых принимали участие некоторые сотрудники ГАИШ, от строительства в Карпатах отказались. Строительство было начато на Кавказе, на пике Терскол (высота 3100 м над уров-

нем моря), недалеко от Эльбруса. Астроклимат Терскола ничем не уступает астроклимату CAO, а по прозрачности воздуха и низкой относительной влажности даже превосходит его. Условия на Терсколе особенно благоприятны для наблюдений в инфракрасной области спектра.

Уже в 1971 г. на Терсколе был установлен рефлектор АЗТ-14 ($D = 480$ мм, $F = 7,5$ м) для фотографических наблюдений переменных звезд и других фотометрических работ. Несколько позже там были установлены рефлекторы АТ-40 ($D = 40$ см) и АТ-80 ($D = 80$ см) со спектрофотометром для ближней инфракрасной области, изготовленные ГАО АН УССР совместно с астрономической обсерваторией Одесского университета, а также камера для наблюдений ИСЗ АФУ-75 со светосильным объективом Уран-16 ($D = 212$ мм, $F = 75$ см) и специализированный солнечный телескоп СЭФ.

Строительство новых специализированных телескопов собственными силами стало возможным после создания отдела астрономического приборостроения. Его работа протекает в кооперации с астрономической обсерваторией Одесского университета. Уже построены упомянутые рефлекторы АТ-40 и АТ-80. Ведется проектирование и строительство новых рефлекторов с диаметром зеркал около 1 м и ряда астрофизических приборов, в том числе радиотелескопа УРАН-4, состоящего из 126 вибраторов и приемника излучения на длинах волн $\lambda = 10$ м и более. Радиотелескоп размещается на загородной базе Одесской обсерватории.

В 1975 г. директором ГАО АН УССР стал Я. С. Яцкив, академик АН УССР, специалист в области изучения вращения Земли. При нем обсерватория получила дальнейшее развитие, превратившись в координирующее учреждение по целому ряду всесоюзных и международных проблем, и стала инициатором новых планов. Во время прохождения кометы Галлея 1986 г. ГАО АН УССР была головной организацией наземных наблюдений кометы по советской программе.

В 1975 г. в ГАО АН УССР введен в строй двойной широкоугольный астрограф Цейса (ГДР) ($D = 400$ мм, $F = 200$ см). Годом позже было завершено строительство главного здания обсерватории (см. рис. 62).

В наши дни Голосеевская обсерватория — ГАО АН УССР — является активным, развивающимся научным учреждением, получившим широкое международное признание.



Рис. 63. Двойной широкоугольный астрограф Цейса 400/2000 ГАО АН УССР в Голосееве

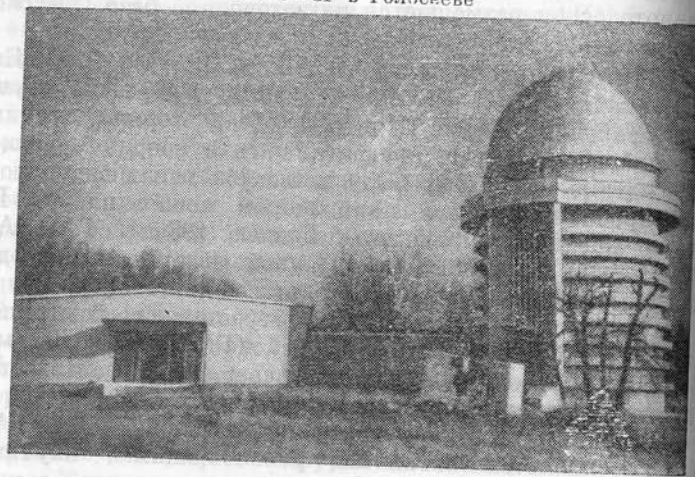


Рис. 64. Башня двойного широкоугольного астрографа ГАО АН УССР

В Киеве имеется и другая, расположенная вблизи центра города обсерватория — астрономическая обсерватория Киевского государственного университета (АО КГУ). Она была основана еще в 1845 г. Основное направление ее деятельности было связано с исследованиями по небесной механике, хотя на ней велись и астрометрические наблюдения. В настоящее время АО КГУ располагает меридианным кругом Репсольда ($D = 120$ мм, $F = 150$ см) для работ по фундаментальной астрометрии, двойным астрографом Мерца и Малера ($D = 200$ мм, $F = 446$ см, диаметр визуального объектива $D_v = 224$ мм, $F_v = 438$ см) и малым рефрактором ($D = 200$ мм, $F = 300$ см), используемым как гид для двух небольших фотографических камер ($D_1 = 120$ мм, $F_1 = 50$ см, $D_2 = 240$ мм, $F_2 = 100$ см), на которых ведутся наблюдения малых тел Солнечной системы. Для работ по Службе Солнца сконструирован и построен своими силами горизонтальный солнечный телескоп (диаметр целостатного зеркала $D_z = 310$ мм, диаметр главного зеркала $D = 180$ мм, $F = 770$ см) с дифракционным спектрографом и стандартный хромосферно-фотосферный телескоп. Кроме того, имеется несколько небольших инструментов, в том числе несколько метеорных патрулей.

На обсерватории организованы базисные наблюдения метеоров: одна станция базы — на окраине села Лесники, к югу от Киева, другая — в селе Пилиповичи, к западу от Киева. На станциях построены двухэтажные лабораторные здания, павильоны для метеорных патрулей и радиолокационные установки. Третья станция расположена на самой обсерватории в Киеве.

В научной работе этой университетской обсерватории большое внимание уделяется изучению малых тел Солнечной системы — малым планетам, кометам, метеорам. Время от времени АО КГУ издает «Кометный циркуляр», в котором помещаются результаты наблюдений комет, выполненных в Советском Союзе, эфемериды появившихся комет и некоторые небольшие материалы по теории комет. Значительное внимание ученые АО КГУ уделяют также изучению вращения и фигуры Луны.

§ 26. Абастуманская астрофизическая обсерватория

В 200 км к западу от Тбилиси, на живописных отрогах Аджаро-Имеретинского хребта, в 10 км от Зекарского перевала, на горе Канобили (высота 1700 м над уровнем

моря) расположена Абастуманская астрофизическая обсерватория Академии наук ГССР. Под горой, по берегам стремительной горной речки Оцхе, расположен курорт Абастумани, по имени которого и названа обсерватория.

Абастуманская обсерватория была основана в 1932 г. при активном содействии ленинградских астрономов. Собственно, это место приглянулось астрономам давно. Еще в конце XIX в. С. П. Глазенап (1848—1937), первый русский астроном, поставивший вопрос о поиске мест с благоприятными астроклиматическими условиями, установил на склоне горы Канобили небольшой рефрактор и проводил наблюдения тесных двойных звезд. Его башенка сохранилась до сих пор. Наблюдения Глазенапа показали, что астроклиматические условия Абастумани — высокая прозрачность и спокойствие воздуха — весьма благоприятны для астрономических наблюдений, а большое количество ясных ночей (170—180 в год) делает это место очень удобным для строительства крупной высокогорной обсерватории. Но в условиях царской России это оказалось неосуществимым. Только при Советской власти было принято решение о строительстве первой высокогорной астрофизической обсерватории.

Сначала в бывшей башне Глазенапа был установлен 33-сантиметровый рефлектор, первенец советского телескопостроения. На нем в 1932—1936 гг. велись фотографические и фотоэлектрические наблюдения переменных звезд.

В 1937 г. началось строительство обсерватории наверху, на горе Канобили, и эта обсерватория стала первой советской астрономической наблюдательной базой, расположенной в горных условиях, обеспечивающих наиболее благоприятный астроклимат. Вершина горы вытянута с востока на запад с постепенным повышением к западу. Собственно, отметка 1700 м относится именно к западной вершине, а сами инструменты расположены восточнее, на высоте примерно 1650 м.

Со дня основания обсерватории ее бессменным директором является академик АН СССР, президент АН ГССР Е. К. Харадзе, специалист в области звездной астрономии.

Сначала были построены двухбашенный корпус, в котором были размещены 33-сантиметровый рефлектор и 44-сантиметровая камера Шмидта (диаметр зеркала 444 мм, диаметр коррекционной пластины 360 мм, относительное отверстие 1:1,75, поле зрения диаметром 4°),

главное здание обсерватории с башней 40-сантиметрового длиннофокусного рефрактора (диаметр объектива 400 мм, фокусное расстояние 680 см) и несколько жилых домов.

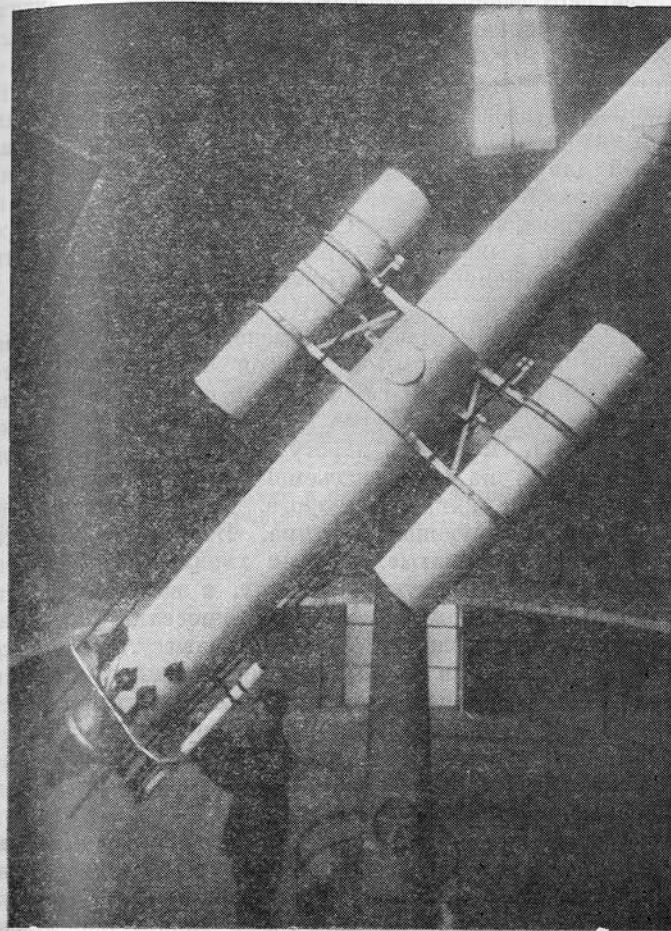


Рис. 65. 40-сантиметровый рефрактор Абастуманской астрофизической обсерватории с двумя фотографическими камерами (довольно редкий снимок)

Малые инструменты, сохраняемые до сих пор с большой любовью, имеют ныне только историческое значение, а длиннофокусный рефрактор и сегодня используется

для поляриметрических и колориметрических исследований Луны.

На этом рефракторе были дополнительно смонтированы две фотографические камеры (диаметр объективов 200 мм, фокусное расстояние 100 см, поле на пластинках 18×24 см: $10 \times 13^\circ$). На протяжении нескольких десятилетий с этими камерами было получено более 5,5 тысяч снимков звездных полей, комет, планет, малых планет. Снимки, полученные со светофильтрами, послужили основой для определения абсолютных звездных величин и показателей цвета звезд. На них было открыто несколько малых планет, комет и новых звезд. Позднее эти камеры были вынесены в отдельный павильон и смонтированы на небольшом рефракторе, который служит им гидом.

К обсерватории от курорта ведет узкое шоссе, извивающееся серпантином, с массой крутых поворотов. Я насчитал более 30 изгибов (на угол 90° или больше). Кто-то в шутку сказал: «Вот я приехал сюда из Москвы на автомобиле, и за всю дорогу не сделал столько поворотов, сколько на этом подъеме!». Но кроме шоссе, на гору ведет еще канатная дорога. Из вагончика дороги открывается волнующая картина. Величественные горные массивы, покрытые густыми хвойными лесами, как бы обрамляют глубокую котловину, в которой в густой зелени прячутся домики курортного поселка. Да и сама обсерватория расположена в хвойном лесу. Сам воздух пропитан ароматами смолы и хвои, создающими удивительно здоровый микроклимат. Там, где деревья расступаются, расположены здания обсерватории и башни с телескопами, а к востоку и к западу от них, среди деревьев, расположены жилые дома, электростанция, гараж, подсобные помещения.

В послевоенные годы обсерватория как бы пережила второе рождение. Она расширилась и получила новые крупные телескопы. К западу от административного здания, где отрог горы возвышается в виде террасы, было построено лабораторное здание с круговой колоннадой и башней, в которой установлен 70-сантиметровый менисковый телескоп системы Д. Д. Максutowa, построенный в 1955 г. Государственным оптическим институтом им. С. И. Вавилова (диаметр мениска 700 мм, диаметр главного зеркала 975 мм, фокусное расстояние 210 см, поле — круглое, диаметром $4^\circ 50'$). Телескоп снабжен объективной призмой диаметром 725 мм с отклоняющим

углом 8° . Коррекционная линза и объективная призма выполнены из увиолевого стекла, пропускающего ближний ультрафиолет (до $\lambda \geq 3500 \text{ \AA}$). Этот телескоп является одним из самых крупных менисковых телескопов нашей страны. Он позволяет получать спектры звезд

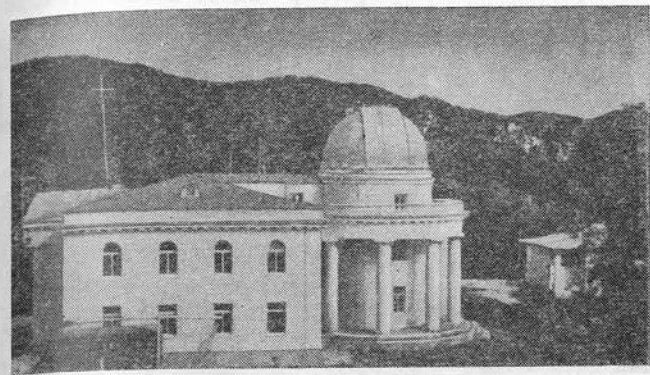


Рис. 66. Лабораторное здание и башня 70-сантиметрового менискового телескопа Абастуманской астрофизической обсерватории

до 13^m . С ним уже выполнены массовые определения спектральных классов и выявлено много интересных астрофизических объектов.

К югу от лабораторного здания расположены лаборатории и павильоны инструментов для исследования Солнца. В их числе стандартный хромосферно-фотосферный телескоп, спектрогелиограф и горизонтальный солнечный телескоп с монохроматором для наблюдений Солнца в инфракрасной части спектра. К этим инструментам имеется большой набор вспомогательного оборудования, включая интерференционно-поляризационные фильтры. Комплекс солнечных инструментов Абастуманской обсерватории позволяет не только выполнять систематические наблюдения по программе Службы Солнца, но и проводить исследования физических процессов, протекающих в разных слоях солнечной атмосферы, что очень важно для понимания солнечно-земных связей.

Немного западнее солнечных павильонов построен небольшой корпус с 14-метровой вышкой, на которой установлено несколько спектрографов и электрофотометр

ров для изучения свечения сумеречного и ночного неба в оптическом, ультрафиолетовом и инфракрасном диапазонах электромагнитного излучения, а также фотоэлектрический озонометр для изучения поведения слоя озона в верхних слоях атмосферы Земли. Исследования физики земной атмосферы являются традиционной темой работ

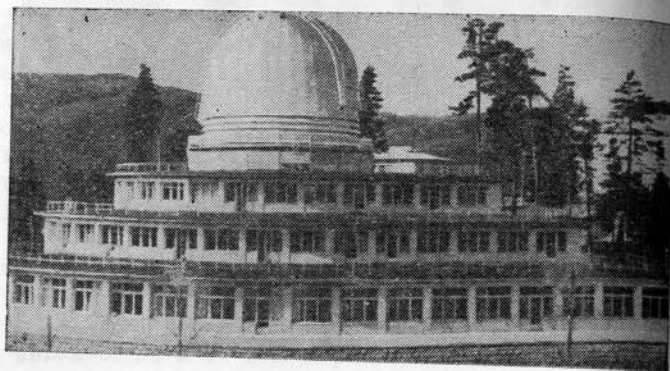


Рис. 67. Здание и башня 125-сантиметрового рефлектора АЗТ-11 Абастуманской астрофизической обсерватории

абастуманских астрономов, которые они успешно ведут уже многие десятилетия.

В 1970 г. между корпусами 40-сантиметрового рефлектора и 70-сантиметрового менискового телескопа было построено оригинальное здание современной архитектуры с башней автоматизированного рефлектора АЗТ-11 диаметром 125 см, предназначенного для электрофотометрических работ. Инструмент изготовлен ленинградской фирмой ЛОМО; он полностью аналогичен рефлектору, установленному в КраО. Точнее, они должны были быть полностью идентичны, но в ходе отладки каждая обсерватория внесла в конструкцию телескопа что-то свое, и, естественно, теперь телескопы имеют свои индивидуальные отличия.

Еще дальше к западу, почти на самой вершине, построены здание большого коронографа конструкции Г. М. Никольского, такого же, как и на некоторых других обсерваториях, и здание с башней для двойного широкоугольного астрографа. Астрограф изготовлен народным предприятием Карл Цейс (ГДР) и введен в строй

в 1978 г. Он имеет две параллельные трубы: фотографическую (диаметр четырехлинзового объектива 400 мм, фокусное расстояние 3023 мм, поле размером $5,7 \times 5,7^\circ$ на пластинках 30×30 см) и гид. Астрограф используется как для целей звездной астрономии, так для астрометрических определений положений звезд и малых планет. Он заменил собой те две фотографические камеры, о которых говорилось выше.

Характерной особенностью архитектурного ансамбля Абастуманской обсерватории (а надо сказать, все здания ААО красивы и хорошо гармонируют с природой) является то, что каждая астрономическая башня или павильон сочленены с лабораторными пристройками, имеющими, как правило, плоскую крышу, покрытую асфальтом. Функционально это удобно и архитектурно смотрится красиво. Особенно выразительно в этом отношении трехэтажное здание, пристроенное к башне телескопа АЗТ-11. Впрочем, лабораторная пристройка, хотя и меньшего размера, есть и у башни АЗТ-11 в КраО. И хотя все телескопы ААО высоко подняты над уровнем почвы и лабораторные помещения в основном пристроены с северной стороны башен, все же асфальт крыши, прогреваясь днем под лучами Солнца, ночью отдает тепло, являясь причиной воздушных потоков, которые могут отрицательно сказаться на качестве изображений.

Основные исследования обсерватории посвящены изучению структуры Галактики на основе классификации спектров, фотометрии, колориметрии и подсчета звезд в избранных направлениях. На обсерватории составлены обширные каталоги звездных величин, показателей цвета, спектров и светимостей звезд. Анализ показателей цвета большого числа звезд позволил провести детальное изучение распространения, массы и физических свойств межзвездной среды. Большое внимание уделяется исследованиям в области звездной динамики, переменных и нестационарных звезд. Продолжаются открытия малых планет, комет, новых звезд. Открыты и исследованы сотни так называемых эмиссионных звезд, в спектре которых наблюдаются эмиссионные линии.

§ 27. Бюраканская астрофизическая обсерватория

Начиная с 1933 г., при Ереванском государственном университете действовала небольшая учебная астрономическая обсерватория. Она располагала скромным 20-сан-

тиметровым рефрактором, переданным в Ереван Ленинградским университетом. Когда в 1943 г. была образована Академия наук АрмССР, то в ее состав вошла и Ереванская обсерватория. Тематика работ обсерватории, определяемая ее научным руководителем, профессором Ленинградского университета В. А. Амбарцумяном, целиком стала направленной на решение актуальных задач астрофизики. Однако возможности Ереванской обсерватории, расположенной в пределах развивающегося города, не позволяли развернуть необходимые наблюдения. И уже в 1944 г. Академия наук вынесла постановление о строительстве новой астрофизической обсерватории.

Вдохновителем создания обсерватории и ее бессменным директором стал выдающийся ученый, ныне дважды Герой Социалистического Труда, академик АН СССР В. А. Амбарцумян, академик и президент АН АрмССР, член многих зарубежных академий и научных обществ.

Поиски места для обсерватории заняли немного времени. Астрономы, естественно, обратили внимание на горы, где в 35 км от Еревана близ села Бюракан, на южном склоне горы Арагац, — потухшем вулкане, поднимающем свою вершину на 4090 м, на высоте около 1500 м над уровнем моря в 1946 г. и началось строительство будущей обсерватории. По имени селения обсерватория получила название Бюраканской астрофизической обсерватории АН АрмССР.

В первые годы обсерватория получила несколько небольших инструментов, в том числе и 50-сантиметровый рефлектор для электрофотометрии и поляриметрии переменных звезд. В 1954 г. был установлен изготовленный ленинградским заводом ГОМЗ телескоп системы Шмидта с коррекционной линзой и зеркалом одинакового диаметра — 53 см и фокусным расстоянием $F = 1,8$ м. С ним были начаты наблюдения далеких галактик. Еще в 1947 г. В. А. Амбарцумян показал, что разреженные и неустойчивые группировки звезд, так называемые звездные ассоциации, являются молодыми образованиями. Это позволило ему сделать фундаментальный вывод о том, что звезды рождаются в Галактике и в настоящее время. Открытие звездных ассоциаций и вывод о продолжающемся процессе звездообразования в нашей Галактике послужили стимулом для изучения звезд, находящихся на ранней стадии эволюции. За исследование звездных ассоциаций В. А. Амбарцумян и Б. Е. Маркарян были удостоены Государственной премии СССР.

Чрезвычайно плодотворными оказались наблюдения одного из типов молодых звезд — вспыхивающих — с помощью 53-сантиметровой камеры Шмидта. Вообще тема изучения вспыхивающих звезд, а также так называемых «флуоров» и объектов Херbiga — Аро на многие годы стала одной из ведущих в работе обсерватории.

Поляризметрические наблюдения звезд привели к открытию в 1949 г., независимо от американских астрономов, собственной поляризации света звезд. На 40-сантиметровом и 50-сантиметровом рефлекторах изучалась

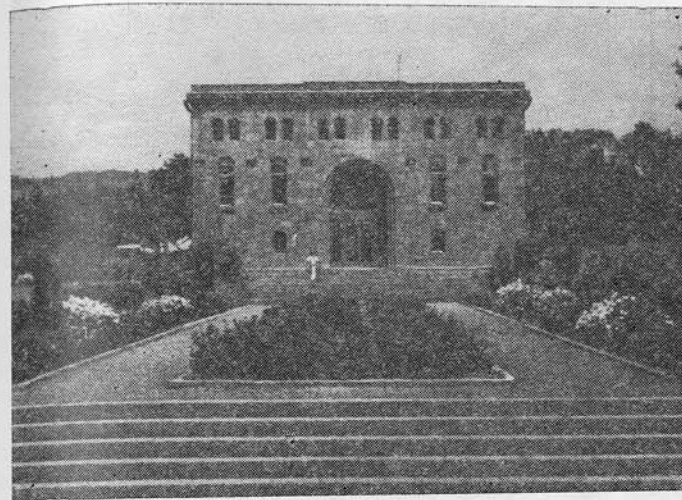


Рис. 68. Главное здание Бюраканской астрофизической обсерватории

поляризация света Крабовидной туманности, поляризация света красного гиганта μ Цефея, открыта переменность поляризации звезд типа Т Тельца.

Параллельно с оптическими наблюдениями, начиная с 1951 г., получили развитие и радиоастрономические исследования. С помощью двух радиоинтерферометров велись наблюдения дискретных радиоисточников на длинах волн $\lambda = 4,2; 1,5$ и $0,5$ м, причем приемные устройства и антенны были изготовлены в мастерских обсерватории. Были разработаны методы накопления слабых радиосигналов, что позволило значительно поднять проникающую способность радиотелескопов. В результате удалось про-

наблюдать столь слабые радиоисточники, которые до этого обнаруживались только с помощью наиболее мощных радиотелескопов. Позднее на базе отделов обсерватории был создан Институт радиофизики и электроники АН АрмССР.

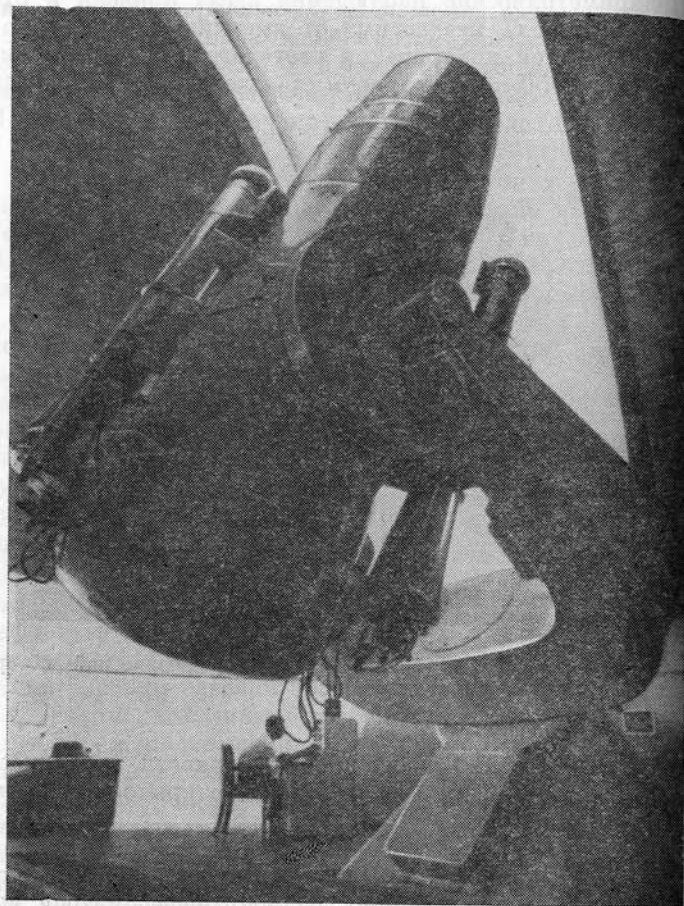


Рис. 69. Метровый телескоп системы Шмидта Бюраканской астрофизической обсерватории

К 1956 г. было завершено строительство первой очереди обсерватории. Комплекс зданий обсерватории — главный лабораторный корпус, в котором располагаются

также конференц-зал, библиотека и дирекция, наблюдательные башни, гостиница для приезжих астрономов — создан по проекту архитектора С. А. Сафаряна. Здания

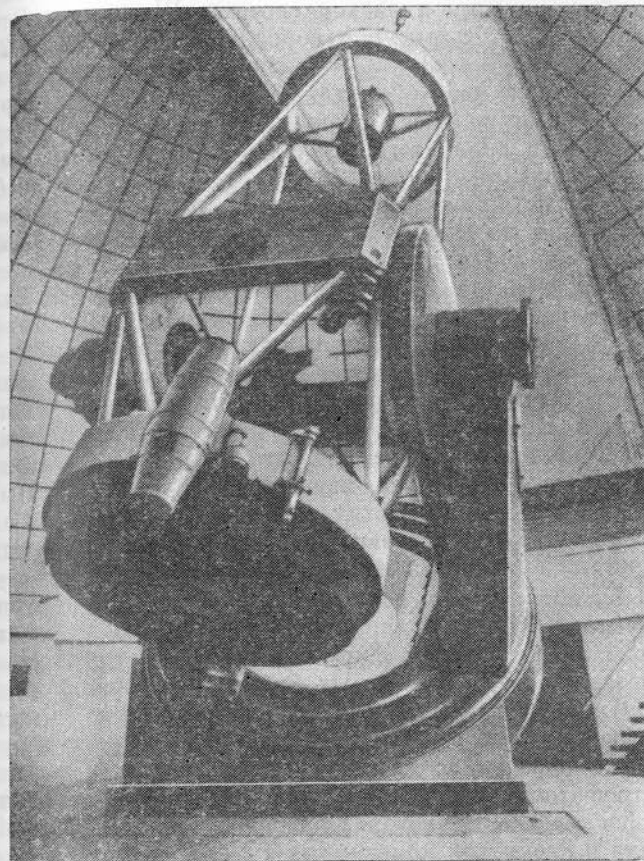


Рис. 70. Рефлектор (2,6-метровый) Бюраканской астрофизической обсерватории

построены из розового туфа и выдержаны в национальном стиле. Официальное открытие обсерватории (рис. 68) состоялось 19 сентября 1956 г.

С тех пор Бюраканская обсерватория получила дальнейшее развитие. Построены и введены в строй радио-

телескопы, позволяющие наблюдать радиоисточники в широком диапазоне радиоволн, в том числе на радиоастрономической базе в Сараванде, выше поселка Бюракан. В 1960 г. установлен самый крупный в СССР и один из крупнейших в мире телескоп системы Шмидта, изготовленный ЛОМО, с диаметром коррекционной линзы 102 см и зеркалом диаметром 132 см, снабженный тремя самыми большими в мире объективными призмами из кварца, позволяющими получать спектры звезд до 17^m . Большая проникающая сила этого телескопа, превосходные качества изображений и широкое поле $4 \times 4^\circ$ обеспечили бюраканским астрономам возможность проведения важных исследований по физике и морфологии галактик. Особое значение получили наблюдения, подтверждающие нестационарные явления во внегалактических объектах. Были открыты галактики с необычайно сильным избытком ультрафиолетового излучения, получившие название галактик Маркаряна. Лучевые скорости большого числа таких галактик были получены на Южной станции ГАИШ в Крыму М. А. Аракеляном, Э. А. Дибеем и В. Ф. Есиповым. Сейчас открыто более 1500 объектов этого класса. И, наконец, изучение спектральных и морфологических характеристик галактик явилось основанием для разработки и развития в Бюракане идей о космогонической активности ядер галактик.

В октябре 1976 г. вошел в строй еще более крупный рефлектор ЗТА-2,6 с диаметром зеркала 2,6 м, изготовленный ленинградской фирмой ЛОМО. Этот инструмент является одним из трех самых больших телескопов нашей страны вместе с 6-метровым телескопом БТА и 2,6-метровым рефлектором ЗТШ в КраО. На ЗТА-2,6 ведутся главным образом изучения спектров звезд и галактик, электрофотометрические наблюдения звезд в оптическом и инфракрасном диапазонах, исследуются галактики Маркаряна и структура кометарных туманностей.

Со временем стало ясно, что астроклиматические условия Бюракана заметно ухудшаются и уже не отвечают современным высоким требованиям. Поэтому решено начать строительство новой высокогорной наблюдательной базы на востоке Армении, на горе Караглюх в Ехегнадзорском районе, на отрогах Зангезурского хребта, на высоте 2800 м. Предполагается перенести туда некоторые инструменты (40-сантиметровый рефлектор, метровый телескоп системы Шмидта) и установить там новый 1,5-метровый рефлектор.

§ 28. Астрофизический институт АН Казахской ССР. Алма-Атинская обсерватория

Суровой военной осенью 1941 г. группа астрономов, волею эвакуационных судеб оказавшаяся в Алма-Ате, предложила основать там астрономический институт. В октябре 1941 г. Совнарком Казахской ССР постановил образовать такой институт совместно с физиками и назвать его «Научно-исследовательский институт астрономии и физики», сокращенно ИАФ. Первым директором этого института стал академик В. Г. Фесенков, выдающийся советский организатор науки. В состав ИАФ вошел ряд крупнейших астрономов: Н. Н. Парийский, Г. А. Тихов, Б. А. Воронцов-Вельяминов и другие. В первые годы деятельность ИАФ была направлена на изучение объектов, приборы для исследования которых можно было изготовить самим. Например, Б. А. Воронцов-Вельяминов своими руками создал параллактический штатив к камере для фотографирования комет, в котором было всего две детали из металла.

Наблюдательную базу института решено было строить на Каменском плато, в 11 км от Алма-Аты, на высоте 1450 м. Это — от уровня моря, а сама Алма-Ата находится на высоте 700 м, так что превышение обсерватории над городом всего около 700 м. Строительство началось уже после войны, в 1946 г. Первыми были построены главное здание, мастерские, три жилых дома и, конечно, башни для астрономических инструментов. Все было относительно небольшим и скромным. Первым был установлен маленький рефрактор ($D = 125$ мм), который применялся для фотографирования малых планет. В 1948 г. был получен 50-сантиметровый рефлектор Герца ($D = 500$ мм, $F = 1100$ см), который и сейчас используется для абсолютной спектрофотометрии звезд. Немного позже, в 1950 г., появился менисковый телескоп Максутова АСИ-2 ($D = 500$ мм, $F = 120$ см). Большая светосила и широкое поле позволили использовать его для изучения тонкой структуры газопылевых туманностей. На основе снимков, полученных через светофильтры, В. Г. Фесенков и Д. А. Рожковский составили «Атлас газопылевых туманностей», изданный в 1953 г. Осенью 1950 г. введен в строй внезатменный коронограф Лию ($D = 120$ мм), наблюдения на котором положили начало изучению физики Солнца и работам по программе Службы Солнца. Но к этому времени стало ясно, что астро-

климатические условия на Каменском плато, вследствие близости большого города, далеки от идеальных, и в 1952 г. коронограф был перенесен выше в горы, в район Большого Алма-Атинского озера, на высоту 2300 м.

В 1951 г. астрономы отделились, и был образован Астрофизический институт АН КазССР, сокращенно АИ. К этому времени большинство ученых, находившихся в эвакуации, вернулись на свои обсерватории. Г. А. Тихов

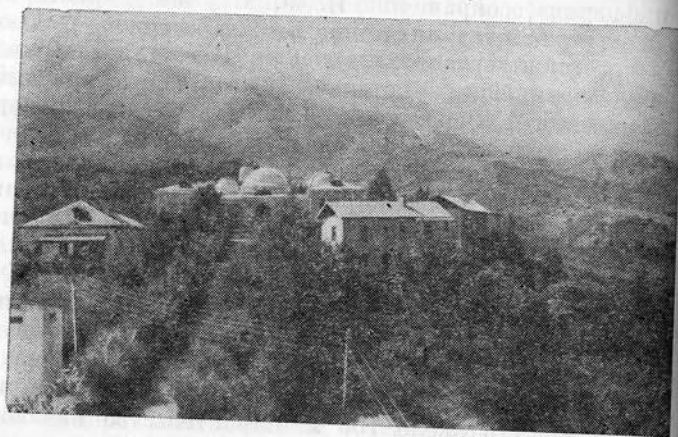


Рис. 71. Общий вид Алма-Атинской обсерватории

возглавил самостоятельное учреждение — Сектор астро-ботаники АН КазССР — и основал свою отдельную обсерваторию. АИ возглавил академик В. Г. Фесенков.

В 1964 г. на обсерватории был установлен новый рефлектор АЗТ-8 отечественного производства ($D = 700$ мм, главный фокус $F_r = 280$ см, фокус Кассегрена $F_k = 11$ м, фокус куда $F_{ку} = 28$ м), на котором ведутся спектрографические и телевизионные наблюдения слабых объектов. Годом позже началось строительство солнечной корональной станции на высоте 3000 м над Большим Алма-Атинским озером. Туда был перенесен (уже в третий раз) коронограф Лео, получивший теперь к своему названию приставку «малый», поскольку здесь же с 1969 г. работал «большой» коронограф Г. М. Никольского ($D = 530$ мм, $F = 800$ см). Кроме них, на корональной станции были установлены стандартный горизонтальный солнечный телескоп АЦУ-5 и небольшой фотогелиограф

($D = 200$ мм, $F = 3$ м), изготовленный в мастерских института.

С 1972 г. был введен в строй 60-сантиметровый рефлектор Цейса. Для этого прекрасного инструмента в отделе приборостроения института была сконструирована разнообразная приемная аппаратура: позиционное поворотное устройство в фокусе Кассегрена, на котором могут монтироваться фотокамера для наблюдения Луны, электрофотометр с автоматической сменой светофильтров и шестиканальный спектрофотометр для регистрации распределения энергии в спектре звезд.

В 1974 г. АИ получил телескоп системы Шмидта ($D = 500$ мм, $F = 800$ см, поле $6 \times 6^\circ$), изготовленный в ГДР. Сначала его установили на самой обсерватории (на Каменском плато), но засветка от большого города не позволяла использовать его в полной мере, и его тоже перенесли на корональную станцию. Астроклиматические условия вблизи Алма-Аты, большого, растущего, почти миллионного города, становились все хуже, и в 70-е годы вновь возник вопрос, уже встававший перед многими обсерваториями: а не построить ли новую высокогорную станцию? Решили — построить. Место для нее выбрали подальше, в 100 км к востоку от Алма-Аты, на высокогорном плато Ассы-Тругень (высота 2300 м над уровнем моря). Там сейчас установлен 1-метровый рефлектор, построенный в ГДР ($D = 1000$ мм, $F = 13$ м), и предполагается установка еще более крупного 1,5-метрового рефлектора.

Директором АИ сейчас является Б. Т. Ташенов, не астроном, специалист по атмосферной оптике (эта тема традиционно входит в планы научной работы АИ с момента его основания).

Хотя на Алма-Атинской обсерватории трудится шесть докторов наук и более трех десятков кандидатов, хотя она располагает современным парком телескопов и другого научного оборудования, а такие темы, как изучение межзвездной среды, светлых и темных диффузных туманностей и связанных с ними звезд, изучение солнечной активности, спектрофотометрии активных галактик, давно и прочно вошли в ее планы научной работы, эта обсерватория еще не вошла в разряд «больших» обсерваторий. Будущее развитие обсерватории связано с использованием крупных рефлекторов, поставленных в подходящем месте, которые должны привлечь молодые кадры астрономов.

§ 29. Астрономический институт АН Узбекской ССР. Ташкентская обсерватория

Ташкентская астрономическая обсерватория (ТАО) — одна из старейших астрономических обсерваторий нашей страны. Она основана в 70-х годах прошлого века как астрономическая база, на которую могли бы опираться геодезические и топографические работы в Туркестанском крае. Официальное открытие предполагалось в

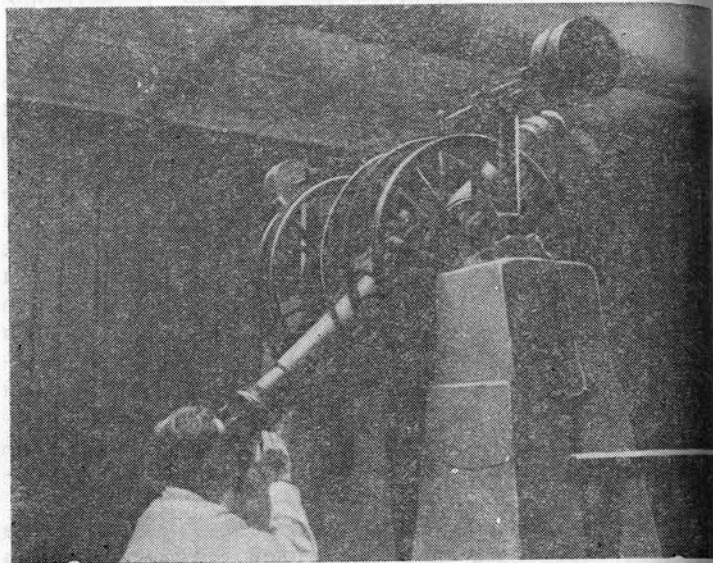


Рис. 72. Меридианный круг Ташкентской астрономической обсерватории (Астрономический институт АН УзССР)

1878 г., по Военно-топографический отдел не мог долго ждать, и фактически обсерватория была основана в 1874 г., а практические наблюдения начались еще раньше. К лету 1873 г. были построены башня для рефрактора, зал меридианного круга и дом для астрономов, и уже в сентябре 1873 г. были сделаны первые наблюдения широты и времени. На обсерватории были установлены меридианный круг Репсоляда ($D = 120$ мм, $F = 148$ см), 15-сантиметровый рефрактор Мерца и пассажный инструмент работы пулковского механика Гербста. Основные работы обсерватории заключались в экс-

педиционных определениях астрономических координат географических пунктов, что явилось основой для картографических работ в Средней Азии.

В 1894 г. по инициативе Ф. А. Бредихина, директора Пулковской обсерватории, в Ташкенте был установлен нормальный астрограф ($D = 330$ мм, $F = 340$ см, поле $2 \times 2^\circ$) (рис. 73). На следующий год впервые учреждена

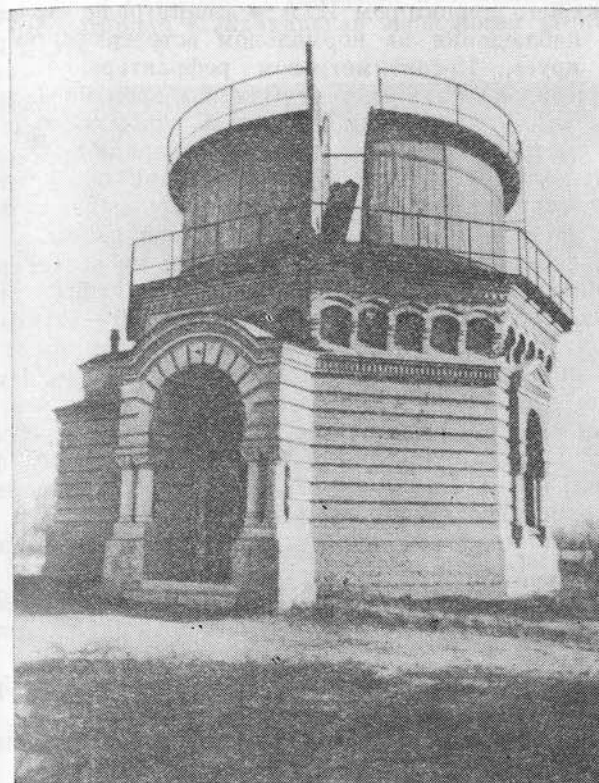


Рис. 73. Башня нормального астрографа Ташкентской обсерватории. В раскрытый люк башни виден сам рефрактор

первая астрономическая должность астрофизика, которую, по рекомендации Ф. А. Бредихина, занял молодой пулковский астроном В. В. Стратонов. За несколько лет наблюдений на нормальном астрографе он получил 400

снимков высокого качества, ценность которых возрастает со временем.

Великая Октябрьская социалистическая революция вывела Ташкентскую астрономическую обсерваторию из состояния полуконсервации. Из-за отсутствия специалистов ее передали в качестве филиала (с 1922 по 1925 год) московскому институту ГАФИ, который направил в Ташкент в качестве директора М. Ф. Субботина, впоследствии ставшего директором ИТА в Ленинграде. Вновь начались наблюдения на нормальном астрографе, меридианном круге, 15-сантиметровом рефракторе. Начались регулярные работы в системе Службы времени (на пассажном инструменте Бамберга) и Службы Солнца (на 15-сантиметровом рефракторе и протуберанц-спектроскопе). Пополнился инструментальный парк обсерватории. Эта деятельность обсерватории оказалась исключительно важной во время Великой Отечественной войны.

После Великой Отечественной войны на обсерватории продолжались регулярные наблюдения Службы времени на двух пассажных инструментах, третий — АПМ-10 — был получен в 1957 г.; велись наблюдения прямых восхождений по программе каталога слабых звезд на меридианном круге, фотографические наблюдения на нормальном астрографе, наблюдения Солнца по программе Службы Солнца. Для последних были получены фотогелиограф ФГ-1 ($D = 100$ мм, $F = 8$ м) и хромосферно-фотосферный телескоп АФР-2/АФР-3. В 1966 г. был приобретен и установлен стандартный горизонтальный солнечный телескоп АЦУ-5.

В 1941 г. директором ТАО стал В. П. Щеглов (1904–1985), заслуженный деятель науки УзССР, академик АН УзССР с 1966 г.

В 1966 г. Ташкентская обсерватория была преобразована в Астрономический институт АН УзССР. В этом же году был построен лабораторно-административный корпус (рис. 74).

Особую роль в истории ТАО сыграло Ташкентское землетрясение в 1966 г. Сама обсерватория практически не пострадала, инструменты даже не сдвинулись со своих фундаментов, хотя обсерватория располагалась не вдалеке от эпицентра. Но ветхие одно- и двухэтажные дома вокруг обсерватории старой постройки пострадали достаточно сильно, и когда после землетрясения началась реконструкция Ташкента (а в восстановлении Ташкента принимала участие вся страна), то как-то неожиданно

получилось, что обсерватория оказалась в центре современного многоэтажного города с почти двухмиллионным населением. Проводить в ней астрономические наблюдения стало крайне сложно.

Поиски удобного для наблюдений места велись и раньше, но бурное строительство города придало этому делу особую срочность. Внимание ученых привлекли исследования астрономов ГАИШ, проводимые на Майданаке. В 1970 г. была организована постоянно действующая высокогорная Майданакская экспедиция (ВМЭ) для

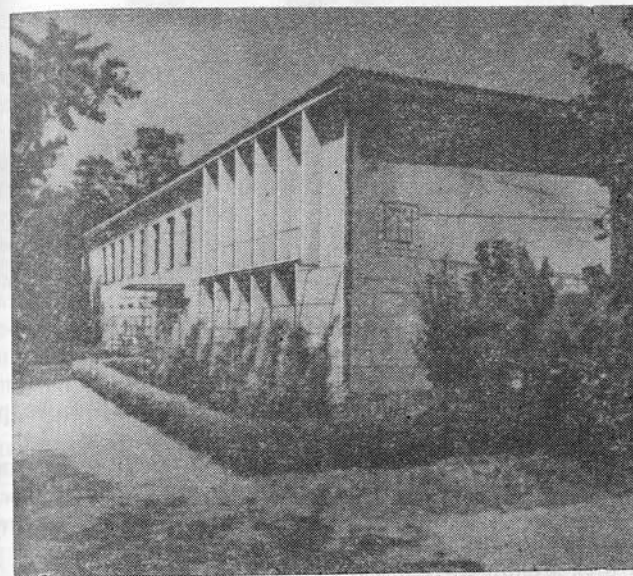


Рис. 74. Главное здание Ташкентской обсерватории (АИ АН УзССР)

организации наблюдательной базы АИ АН УзССР на Майданаке. К настоящему времени там уже установлены два 60-сантиметровых рефлектора Цейса ($D = 600$ мм, $F = 750$ см, поле $20'$), рефлектор АЗТ-14 ($D = 480$ мм, $F = 750$ мм) и 40-сантиметровый рефлектор. На всех четырех телескопах ведутся фотометрические наблюдения.

В 1983 г. директором АИ АН УзССР был назначен Т. С. Юлдобашев, физик, специалист в области высоких

энергий. Через год, в 1984 г., он был избран членом-корреспондентом АН УзССР.

В 1984 г. на обсерватории вошел в строй хромосферный телескоп, изготовленный СибИЗМИР ($D = 180$ мм, $F = 5$ м, с интерференционно-поляризационным фильтром для линии H_{α}), полностью автоматизированный.

Собственно на этом можно было бы и закончить рассказ об АИ УзССР. Но у него есть еще филиал — Китайская Международная широтная станция имени Улугбека, о которой — в своем месте.

§ 30. Казанская астрономическая обсерватория

Это одна из самых старинных обсерваторий нашей страны. Астрономические наблюдения в Казани начались еще в 1811 г., когда профессор Казанского университета И. А. Литтров вместе с молодым магистром Н. И. Лобачевским и студентом И. М. Симоновым вели наблюдения знаменитой яркой кометы 1811 г. Несколько позже, в 1814 г., при Казанском университете была построена небольшая астрономическая обсерватория, где Литтров и Симонов начали регулярные наблюдения. Эта дата — 1814 г. — и считается датой основания Казанской обсерватории. В том же 1814 г. 5 июля было провозглашено полное открытие Казанского университета. Упомянем, что тогда на всех четырех отделениях, при 28 кафедрах, в университете обучалось 42 студента.

Собственно, при Казанском государственном университете имени В. И. Ульянова-Ленина имеется две обсерватории. Первая — на территории самого университета. Она обязана своим возникновением И. М. Симонову, который был руководителем обсерватории с 1816 по 1846 гг. (с 1846 по 1855 гг. он был ректором университета). При нем было построено главное здание обсерватории (рис. 75) и установлены первые крупные инструменты. Эта обсерватория сейчас называется казанской городской астрономической обсерваторией (КГАО). На ней вплоть до 1958 г. велись наблюдения малых планет, комет, покрытий звезд Луною — на 22-сантиметровом рефракторе Мерца, двух кометоскателях и нескольких небольших инструментах. Для проведения работ по Службе времени наблюдения выполнялись на небольшом пассажном инструменте Пистора — Мартинса. Но основная работа ее сотрудников была связана с преподаванием астрономии и астрономогеодезии.

В 1901 г. богатый русский аристократ, доктор астрономии и философии В. П. Энгельгардт пожертвовал университету оборудование своей частной обсерватории, находившейся в Дрездене. Для этого оборудования и части инструментов городской обсерватории Казанский университет построил в 20 км от Казани, в живописном лесном массиве, новую астрономическую обсерваторию. Она

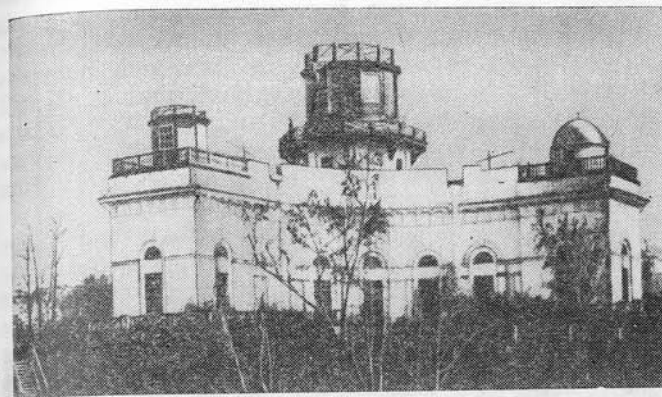


Рис. 75. Здание астрономической (городской) обсерватории Казанского государственного университета им. В. И. Ульянова-Ленина

стала вторым, уже чисто научно-исследовательским учреждением Казанского университета и получила название «Астрономическая обсерватория им. Энгельгардта» (АОЭ) (рис. 76).

По замыслу, АОЭ должна была стать чисто астрономической обсерваторией. На ней имеются меридианный круг Репсольда для составления каталогов точных положений звезд, зенит-телескоп для изучения изменчивости широты, пассажный инструмент для работ по исследованию вращения Земли. В АОЭ имеются два оригинальных инструмента, единственные в нашей стране — гелиометр — инструмент с объективом, разрезанным на две половинки: измеряя взаимное смещение обеих половинок и совмещая изображения, построенные каждой из них, можно точно определять небольшие угловые расстояния, например, между двойными звездами, определять параллаксы звезд или изучать фигуру Луны. На нем и сейчас ведутся наблюдения физической либрации и изучение

фигуры Луны. Другой своеобразный инструмент — 8-метровый горизонтальный лунный телескоп с целостатной установкой (диаметр зеркал целостата $D_c = 300$ мм, диаметр объектива $D = 160$ мм, $F = 8$ м), с которым производится определение положений Луны относительно окружающих ее звезд, причем Луна фотографируется на малочувствительную фотопластинку, а звезды на другую, высокочувствительную; их совмещение производят математически, привязываясь к специальным маркам, впечатываемым на обе пластинки.

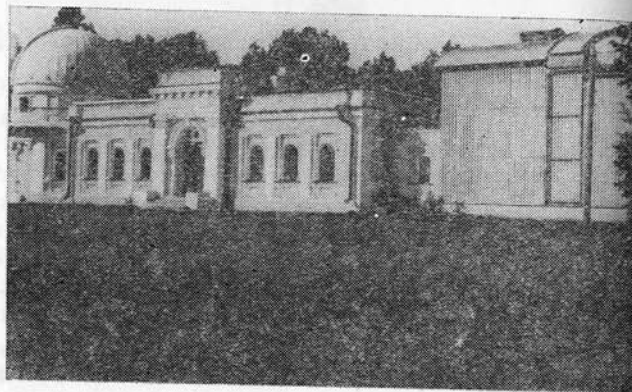


Рис. 76. Астрономическая обсерватория им. Энгельгардта (АОЭ)

Традиционной темой АОЭ являются исследования переменных звезд. Они получили широкое развитие при Д. Я. Мартынове, который был директором АОЭ с 1931 по 1954 гг. Наблюдения переменных звезд в АОЭ ведутся и сегодня на 30-сантиметровом рефракторе Гребба и на 35-сантиметровом менисковом телескопе Максудова, который используется и для исследования структуры Галактики. Директором АОЭ в данное время является О. И. Белькович.

Условия большого города, в центре которого находится КГАО, все больше и больше затрудняют наблюдения. Научные наблюдения на рефракторе Мерца были прекращены в 1957 г., да и учебные наблюдения практически прекратились. Зато в 1976 г. было получено разрешение на строительство Северо-Кавказской станции Казанского государственного университета (СКАС КГУ),

разместившейся на территории САО АН СССР, на той же самой горе, где стоит БГА, только немного подальше от дороги и пониже по высоте. Там построены башни и установлены широкоугольный астрограф Цейса ($D = 400$ мм, $F = 200$ см, поле $8 \times 8^\circ$) и 38-сантиметровый светосильный телескоп Шмидта для звездно-статистических работ и изучения распределения звезд и пылевой материи в Галактике. Широкоугольный астрограф обладает хорошей проникающей силой (на нем можно определять положения звезд до 18^m); он применяется для астрометрических и звездно-астрономических работ. Правда, у него имеются значительные aberrации, в первую очередь кóма, искажающая изображения, и для точных астрометрических работ можно использовать только центральную часть поля размером не более чем $4 \times 4^\circ$.

Обе обсерватории, и КГАО и АОЭ, уже многие годы ведут плодотворную научную работу. Казанская школа астрономов получила международное признание своими трудами по фундаментальной астрометрии, исследованиям движения и физической либрации Луны, участием в работе Международной службы движения полюса, исследованиям комет, малых планет и метеоров. Астрономы — выпускники Казанского государственного университета работают на многих обсерваториях нашей страны.

§ 31. Шемахинская обсерватория

В первые послевоенные годы в Азербайджанской ССР было принято решение о строительстве крупной астрономической обсерватории, и с 1953 г. стала работать постоянная астрономическая экспедиция по выбору места для обсерватории. В экспедиции, наряду с учеными бакинских институтов, принимали участие астрономы Пулковской обсерватории. Место для обсерватории было выбрано в 130 км от Баку, на высоте 1435 м над уровнем моря, на плато Пиркули, вблизи от древней столицы Азербайджана города Шемахи, по имени которого обсерватория и получила свое название: Шемахинская астрофизическая обсерватория АН АзССР, сокращенно ШАО.

От Каспийского моря обсерватория защищена грядой Главного Кавказского хребта; от влияния бассейнов Черного и Средиземного морей — его южными отрогами. Поэтому число ясных ночей и качество изображений лишь незначительно уступает Абастуманской и Бюраканской обсерваториям (см. таблицу на с. 56).

Решением Президиума АН АзССР 13 января 1960 г. была санкционирована организация обсерватории. Эта дата и считается датой открытия обсерватории. На протяжении более 20 лет ее бессменным директором был академик АН АзССР Г. Ф. Султанов. При обсерватории построен жилой поселок, однако большинство астрономов живет в Баку, где есть городское отделение обсерватории: они приезжают на обсерваторию только для наблюдений.

На обсерватории ведутся исследования физики нестационарных звезд, магнитных звезд и другие астрофизические исследования. Для этих целей ШАО имеет 200-миллиметровый фотоэлектрический рефлектор, на котором ведутся исследования переменных звезд, менисковый телескоп Максудова АСТ-452 ($D_m = 350$ мм, $F = 120$ см, рабочее поле $4^{\circ}14' \times 4^{\circ}14'$), снабженный объективными призмами с преломляющим углом $2,15^{\circ}$ и 35° для спектральной классификации звезд, и рефлектор АЗТ-8 ($D = 700$ мм, $F = 282$ см в главном фокусе и $F = 1120$ см в схеме Кассегрена) для фотоэлектрических и поляризационных наблюдений.

С первых дней существования ШАО для нужд Службы Солнца на ней работает стандартный хромосферно-фотосферный телескоп АФР-2 (у фотосферной трубы $D = 200$ мм, $F = 900$ см, у хромосферной $D = 130$ мм, эквивалентное фокусное расстояние 600 см и 200 см). Несколько позже на обсерватории был установлен горизонтальный солнечный телескоп АЦУ-5 (диаметр главного зеркала и зеркал целостата $D = 440$ мм, $F = 1750$ см, фокусное расстояние в схеме Кассегрена 6054 см). Исследования Солнца ШАО входят в Службу Солнца Советского Союза.

Гордостью Шемахинской обсерватории является большой 2-метровый рефлектор ($D = 2000$ мм, $F = 900$ см, с полем $6' \times 6'$, коррекционная линза увеличивает поле до $21' \times 21'$), изготовленный в ГДР. Двухметровый рефлектор вступил в строй в 1966 г. Он может работать в схеме Кассегрена ($F_k = 29,5$ м), где устанавливаются светосильные спектрографы, и в схеме кудэ ($F = 72$ м), где размещены спектрографы с большим разрешением для исследования достаточно ярких объектов.

На протяжении нескольких лет, до начала работы 2,6-метрового рефлектора Бюраканской обсерватории, этот телескоп был крупнейшим в Закавказье, и в наблюдениях на нем принимали участие сотрудники многих

обсерваторий, в том числе зарубежных. Благодаря совместным работам астрономов СССР и ГДР на этом телескопе окрепли связи ШАО с Академией наук ГДР, в результате чего на территории ШАО создана станция Центрального института астрофизики в Потсдаме.

§ 32. Наблюдательная база на Майданаке

В 60-е годы, когда можно было опереться на опыт работы Алма-Атинской, Крымской, Бюраканской и некоторых других обсерваторий, стало ясно, что строить обсерваторию просто в горах — еще недостаточно. Началась разработка научной теории астроклимата (см. с. 55).

Особенно остро вопрос о строительстве высокогорной станции для размещения больших инструментов встал перед ГАИШ. Здесь в 1967 г. была создана рабочая группа под руководством П. В. Щеглова для поиска места с оптимальным астроклиматом. Были построены специальные двухлучевые приборы и разработана единая методика для исследования астроклимата. Статистическая обработка метеорологических данных показала, как уже говорилось, что наиболее подходящими с точки зрения перечисленных условий являются горные районы Средней Азии. После предварительных исследований были выбраны три вершины: Санглок, Майданаке и Хейрабад. На Хейрабаде — 2400 ночных часов ясной погоды, на Санглоке — 1700, на Майданаке — 1900. Здесь начались обстоятельные, на протяжении нескольких лет, исследования астроклимата.

От Хейрабада отказались как от слишком труднодоступного места (хотя все вершины труднодоступны). Сравнение Санглока и Майданака давало примерно одинаковые данные: на Санглоке немного лучше качество изображения ($0,6''$), но меньше ясного времени, на Майданаке изображения похуже ($0,7''$), но больше ясных ночных часов. Предпочтение было отдано Майданаку, поскольку невдалеке от Санглока разворачивалось строительство Нурекского энергетического комплекса.

На Майданаке развернулось строительство наблюдательных станций многих обсерваторий. И хотя инициаторами исследований и строительства были московские астрономы, первыми установили свои телескопы астрономы Ташкентской обсерватории.

Наблюдательная база ГАИШ размещается на соседней вершине. Там завершается строительство лаборатор-

ного корпуса, башни большого 1,5-метрового рефлектора АЗТ-22, универсального автоматизированного телескопа системы Ричи — Кретьена ($D = 1500$ мм, фокусное расстояние в главном фокусе $F = 4,5$ м, поле зрения с пятилинзовым корректором $2\beta = 1^\circ$ на пластинках 9×9 см). АЗТ-22 может работать в схеме Кассегрена с одним из двух вторичных зеркал. Первое создает эквивалентный фокус $F_1 = 12$ м и поле зрения с двухлинзовым корректором $2\beta = 1,5^\circ$ на пластинках 30×30 см. Второе — $F_2 = 24$ м, также с двухлинзовым корректором, $2\beta = 22'$ на пластинках 16×16 см. Наконец, телескоп может работать в схеме кудэ с $F_{ку} = 45$ м. К инструменту прилагаются фильтры для наблюдений в системе U, B, V, R и спектрографы.

На базе ГАИШ уже установлены 60-сантиметровый рефлектор Цейса ($D = 600$ мм, $F = 7,7$ м) с многоканальным спектроанализатором, меридианный круг Репсолюда, ранее установленный на Красной Пресне, а также жилой дом, вычислительная и фотографическая лаборатории, механическая мастерская, вертолетная площадка и вспомогательные помещения.

Гора Майданак привлекает многих астрономов, прельщенных условиями этого места. Уже построила свою базу экспедиция литовских астрономов, которые установили метровый рефлектор Цейса и башню 48-сантиметрового рефлектора Вильнюсской обсерватории. ГАО АН УССР разместила свой 60-сантиметровый рефлектор Цейса с аппаратурой, позволяющей вести фотометрические, спектрометрические и поляриметрические наблюдения.

Большое строительство развернула астрономическая обсерватория Ленинградского университета. Она строит башни для 1,5-метрового рефлектора АЗТ-20, который строится на ЛОМО, и для 1,65-метрового рефлектора, изготовляемого АО ЛГУ своими силами.

Предполагают поставить свои инструменты на Майданак астрономическая обсерватория Харьковского государственного университета, эстонские астрономы из Института астрофизики и физики атмосферы АН ЭССР и даже Межвузовская обсерватория Головного Совета по астрономии Минвуза РСФСР и др.

Таким образом, на вершинах Майданака образуется большая наблюдательная база, объединяющая конгломерат наблюдательных станций и принимающая характер общесоюзного наблюдательного комплекса. Что из этого получится, покажет будущее.

Исследования астроклимата на горных вершинах Средней Азии в настоящее время продолжают. Применение усовершенствованных фотоэлектрических приборов и целого комплекса методов физики атмосферы (с самолетов, привязных аэростатов и т. п.) позволило показать, что этот район, по-видимому, является одним из лучших районов мира по количеству ясного времени с первоклассными изображениями.

А тем временем на горе Санглок построена наблюдательная база Института астрофизики ТаджССР, и на ней с 1980 г. ведутся наблюдения с метровым рефлектором Цейса системы Ричи — Кретьена, дающим весьма неплохие результаты.

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ОБСЕРВАТОРИИ

§ 33. Солнечные обсерватории. Служба Солнца

Солнце — ближайшая к нам звезда, единственная из звезд, на поверхности которой мы можем рассмотреть отдельные детали. Изучая Солнце, можно лучше понять природу других звезд, находящихся на таком удалении, что рассмотреть их поверхность с помощью современных инструментов невозможно. Но, кроме того, Солнце дает нам свет и тепло, без которых не могло бы быть жизни на нашей планете.

Происходящие на Солнце активные процессы — образование и исчезновение пятен, факелов, флоккул, вспышек, протуберанцев, вызывающие усиление или ослабление солнечного излучения (в ультрафиолетовом, радио-, рентгеновском и гамма-диапазонах), потоков солнечного ветра — частиц плазмы солнечной короны — протонов, электронов, ядер гелия, ионов кислорода, кремния, серы, железа, изменяющие структуру межпланетного магнитного поля, сказываются во всем объеме Солнечной системы. Следствием этих активных процессов на Солнце являются многие явления на Земле: нарушения в системе радиосвязи, магнитные бури, изменение крупномасштабной циркуляции в атмосфере, даже ход некоторых биологических процессов, в том числе в организме человека. Все это потребовало внимательного изучения солнечно-земных связей, сделало науку о Солнце практически важной для народного хозяйства.

Для исследования солнечной активности необходимо вести регулярные и возможно более полные, непрерывные наблюдения. Такие наблюдения не под силу одной, какой бы она ни была хорошо оснащенной, обсерватории. Поэтому и в нашей стране, и в международных масштабах была организована Служба Солнца, в которую входят почти все обсерватории, где ведутся наблюдения этого светила.

В Советском Союзе ежемесячно публикуется бюллетень «Солнечные данные», в котором помещаются ежедневные карты Солнца и магнитных полей пятен, синоптическая карта активных образований и многие другие данные о солнечной активности по наблюдениям пример-

но двадцати советских обсерваторий и солнечных станций и восьми исследовательских организаций социалистических стран. Главным образом это данные Горной астрономической станции ГАО АН СССР под Кисловодском, Крымской астрофизической обсерватории, Абастуманской АО и ГАО АН СССР в Пулкове, а лакуны — пропуски в их наблюдениях заполняются наблюдениями других обсерваторий.

Одним из таких учреждений, специализирующимся на изучении Солнца, является Отдел физики Солнца Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн ИЗМИРАН АН СССР или сокращенно ИЗМИРАН, размещенный в Красной Пахре, под Москвой. В этом институте еще в 1952—1953 гг. на горизонтальном солнечном телескопе конструкции Н. Г. Пономарева ($D = 30$ см, $F = 10$ м) были начаты первые в Советском Союзе измерения магнитных полей на Солнце с фотоэлектрическим магнитографом. Там же построен башенный солнечный телескоп АТБ-3, конструкции ленинградских оптиков П. В. Добычина и А. В. Сафонова, аналогичный тому, который был изготовлен для ГАИШ тем же заводом ГОМЗ (ныне ЛОМО). Этот башенный телескоп несколько раз модернизировался. Стеклозатраченные зеркала были заменены на ситалловые, их диаметр увеличился, и сейчас диаметр главного зеркала $D = 600$ мм, диаметр целостатного и дополнительного зеркал $D_{\text{ц}} = 550$ мм, фокусное расстояние в системе Кассегрена $F_{\text{к}} = 27$ м. Для него изготовлены дифракционный спектрограф и две длиннофокусные фотокамеры. Башенный телескоп используется для исследования магнитных полей в хромосфере и фотосфере, а также для наблюдений с помощью интерференционно-поляризационного фильтра в линии H_{α} активных образований в хромосфере.

Именно в ИЗМИРАН был разработан и построен большой внезатменный коронограф ИЗМИРАН, о котором писалось выше. Сейчас такие коронографы системы Никольского работают на семи солнечных станциях СССР и социалистических стран.

Для изучения тонкой структуры радиовсплесков на Солнце в ИЗМИРАН разработан и построен комплекс радиоспектрографов и радиополяриметров для метрового диапазона длин волн. Результаты наблюдений с этими приборами имеют не только важное научное, но и конкретно-практическое значение, особенно в сочетании с оптическими наблюдениями.

В Европейской части СССР расположено двенадцать обсерваторий, участвующих в работе Службы Солнца. В то же время на обширных пространствах Азиатской части Советского Союза до 1950 г. работала практически

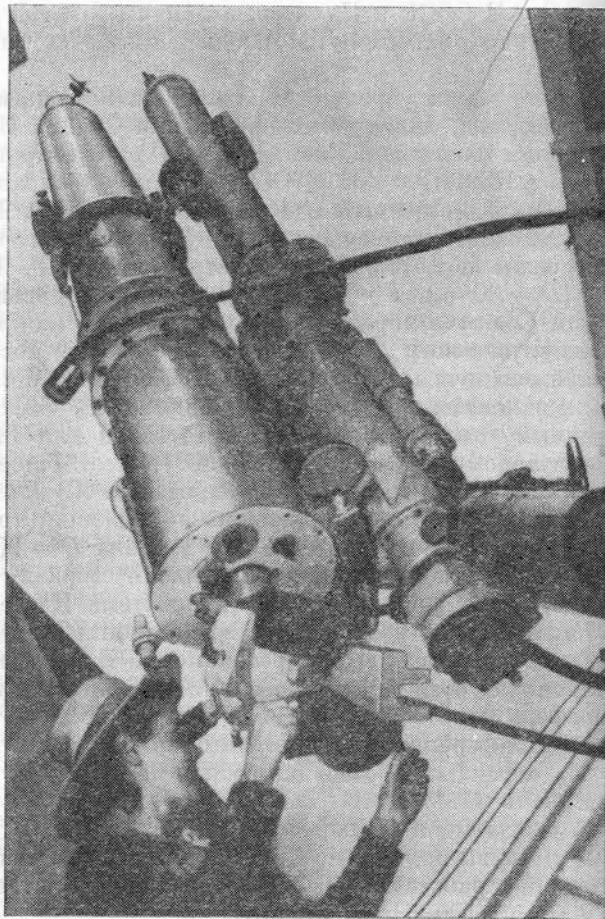


Рис. 77. Хромосферно-фотосферный телескоп

только одна — Ташкентская (ТАО). В 1950 г. стала налаживать солнечные наблюдения Алма-Атинская обсерватория (не сразу и не вдруг), но огромная территория Сибири и Дальнего Востока не имела ни одной солнечной

обсерватории. Между тем главная задача Службы Солнца — непрерывное, изо дня в день слежение за процессами солнечной активности — требовала по возможности непрерывных наблюдений. Создание солнечных обсерваторий на всем протяжении от западных границ до Дальнего Востока на протяжении дуги в 110° по долготе позволяло расширить наблюдательное время — «солнечный патруль» почти до $2/3$ суток. Поэтому Комиссия по исследованию Солнца, по согласованию с Дальневосточным филиалом АН СССР, решила построить солнечные обсерватории в Уссурийске и Иркутске. Уссурийская солнечная обсерватория была основана в 1954 г. Первоначально она называлась Горнотаежной, соответствующими были и общие условия жизни и работы. Место это удобно тем, что там насчитывается до 260 ясных солнечных дней в году. Сначала она еще не была обсерваторией, а просто наблюдательной станцией. Ее руководитель, В. Г. Банин, выпускник Томского университета, прошел в 1953 г. практику на Кисловодской горной станции ГАО АН СССР. Это позволило ему провести монтаж поступившего в 1957 г. хромосферно-фотосферного телескопа АФР-2, изготавливаемого серийно заводом ГОМЗ (ЛОМО), и ввести его в строй в 1958 г. Наблюдения на нем ведутся методом солнечного патруля — если погода позволяет, то диск Солнца непрерывно фотографируется в красной линии H_α в течение 4—6 часов со скоростью два снимка в минуту. На следующий год был введен в действие радиотелескоп для наблюдений Солнца на волне 1,41 см. Тогда же, в 1958 г., была проведена электролиния, построен мост через местную речку Супутинку и улучшены общие условия, позволяющие жить и заниматься наукой.

В 1963—1964 гг. сотрудники тогда еще Горнотаежной станции построили навильон и установили горизонтальный солнечный телескоп АЦУ-23. А уже в 1964 г. теми же силами был установлен и начал работу новый, более мощный горизонтальный солнечный телескоп АЦУ-5. Тогда начались регулярные наблюдения на всех четырех инструментах, и станция получила название «Уссурийская лаборатория Службы Солнца Дальневосточного научного центра АН СССР», сокращенно ДС. Обсерваторией она стала несколько позднее, хотя по своим проводимым исследованиям она уже могла считаться обсерваторией — пока не астрономической, но солнечной.

Наблюдения Солнца велись и на астрономической обсерватории Иркутского государственного университета (АО ИГУ). В 1940 г. для этой работы был применен 12-сантиметровый рефрактор Цейса. После войны, в 1953 г., обсерватория получила стандартный фотогелиограф Максутава. Но наблюдения Солнца были прекращены в 1970 г., когда широкое развитие получили наблюдения Солнца в СиБИЗМИР. А на Иркутской обсерватории продолжают наблюдения на фотоэлектрическом пассажном инструменте АПМ-10 — для определения поправок часов — и на зенит-телескопе ЗТЛ-180 — для изучения изменчивости широты и движения полюса. Поскольку эти инструменты расположены на той же широте, что и польская станция в Боровицах, и наблюдения там ведутся по единой программе, то совместная работа АО ИГУ и Боровицкой станции представляет особую важность для изучения вращения Земли.

§ 34. Саянская горная обсерватория

Две не очень большие станции — Иркутская и Уссурийская — не могли удовлетворить требования Службы Солнца в этом большом географическом регионе. И когда в 1960 г. был организован Сибирский институт земного магнетизма и распространения радиоволн — СиБИЗМИР, который возглавил известный исследователь Солнца, член-корреспондент АН СССР В. Е. Степанов, было решено построить крупную солнечную обсерваторию в Сибири.

Место для нее выбрали на горе Часовые сопки в Восточных Саянах, в 320 км к юго-западу от Иркутска, на высоте 2100 м над уровнем моря. Обсерваторию строили на слое вечной мерзлоты, и для крепления фундаментов пришлось пробивать этот слой сваями и углублять их на 1,5 м в непромерзшую почву. На обсерватории установлен горизонтальный телескоп АЦУ-5, к которому приданы спектрографы, магнитографы, интерференционно-поляризационные фильтры. Недалеко от него построен павильон большого внезатменного коронографа конструкции Г. М. Никольского. Чуть дальше расположен павильон другого коронографа, меньших размеров, изготовленного в Иркутске ($D = 200$ мм, $F = 3,5$ м).

Параллельно с оптическими наблюдениями Солнца ведутся и его радиоастрономические наблюдения. Они были начаты еще в Иркутске, в 1958 г. Позже были

построены радиоинтерферометр с малой базой (РИМБ), работающий на длине волны $\lambda = 3,2$ см, с которым ведутся исследования микроволновых флуктуаций и колебаний в активных областях, и радиополяриметр ($\lambda = 3$ см) для изучения связи источников поляризованного излучения с пятнами, вспышками и другими образованиями, наблюдаемыми оптическими инструментами. Наблюдения на РИМБ ведутся по согласованной программе с таким же инструментом в Тонантингле в Мексике, и поскольку разница во времени между Иркутском и Мексикой составляет 11 часов, то эти совместные наблюдения не прерываются круглые сутки.

Невдалеке от Саянской обсерватории, в предгорьях Тункинских Гольцов (или, как их иногда называют, Тункинских Альп), в урочище Бадары, ведется строительство крупнейшего солнечного радиотелескопа-интерферометра. Он будет иметь форму креста, каждый из лучей которого протянется на 320 метров и будет состоять из 64 одинаковых параболических антенн диаметром 2,5 м, которые все вместе, синхронно, направляются на Солнце. Он получил название «Сибирский солнечный радиотелескоп» (ССРТ).

Строительство было делом непростым. Пришлось корчевать деревья, строить подъездные дороги, проводить электролинию. Каждая из 256 антенн устанавливается по отношению ко всем другим с погрешностью до 2—3 мм. Антенны соединены волноводами, общая протяженность которых составляет 7 км. Волноводы уложены в подземных тоннелях, чтобы избежать погодных помех, главным образом температурных деформаций. Плечо «восток — запад» этого радиотелескопа, состоящее из 128 антенн, уже работает с декабря 1983 г. ССРТ ведет наблюдения на волне $\lambda = 5$ см и используется для изучения активных областей на Солнце с высоким пространственным и временным разрешением (20" и 2,5 минуты, соответственно). Наблюдения на нем ведутся все время, когда Солнце находится над горизонтом. Каждое радиоизображение — это десятки тысяч отсчетов, полученных практически одновременно с помощью 280-канального приемника. Сбор и анализ такой информации возможен только с помощью ЭВМ.

Астроклимат Саянской обсерватории оказался не самым удобным для наблюдений Солнца. Там действительно целесообразно наблюдать солнечную корону — часто бывают дни с чистым, прозрачным, ярко-синим небом,

когда полностью отсутствует ореол около Солнца. Но для фотографических и спектрографических работ он недостаточно хорош: картину портит дрожание солнечного диска.

После десяти лет экспедиционных работ по поиску пункта с астроклиматом, пригодным для высокоточных наблюдений Солнца, было найдено место на берегу Байкала, в поселке Листвянка. Здесь, в 70 км от Иркутска, на высоте 620 м над уровнем моря, построили Байкальскую астрофизическую обсерваторию СибИЗМИР. Климат здесь мягче, чем на Саянах: сказывается большой водный объем Байкала; зима здесь теплее, а лето прохладное и малооблачное. Дрожание изображений здесь в два раза меньше, и сюда перенесены все наблюдения по Службе Солнца. Здесь установили два хромосферно-фотосферных телескопа АФР-2 и АФР-3, и с ними ведут фотографирование фотосферы и активных образований на Солнце с высокой разрешающей способностью (не хуже 1").

СибИЗМИР и его солнечные обсерватории — Байкальская астрофизическая обсерватория, Саянская обсерватория и радиофизическая обсерватория активно участвуют во многих советских и международных программах по изучению Солнца. Фактически здесь создан единственный в мире исследовательский комплекс, охватывающий все методы наземных наблюдений Солнца.

§ 35. Обсерватории Службы времени и Службы широты

Определение точного времени всегда было одной из основных задач астрономии. Поэтому в задачу астрономических обсерваторий издавна входило определение точного времени из астрономических наблюдений, фиксирование этого времени с помощью особенно точных, астрономических часов и передача этого времени всем тем, кому нужно его знать. Кратко эта задача формулировалась тремя словами: определение, хранение, распространение точного времени.

В начале прошлого века для этой цели на Гринвичской обсерватории ежедневно, в 12 часов 58 минут, на верхушку шпиля восточной башенки обсерватории поднимался сигнальный шар, который ровно в 13 часов по среднему солнечному времени падал вниз. По этому сиг-

налу штурманы кораблей, стоящих на Темзе, сверяли свои хронометры.

В Петербурге, по сигналу из Петербургской обсерватории, располагавшейся в башне и верхних этажах здания Кунсткамеры, производился выстрел из пушки на кронверке Петропавловской крепости. Позже, после постройки Пулковской обсерватории, выстрел осуществлялся по электрическому сигналу, передаваемому из обсерватории по телеграфным проводам.

На Московской обсерватории (да и на некоторых других) был выделен день, когда московские часовщики и другие заинтересованные лица могли приходить на обсерваторию и проверять свои часы по показаниям точных астрономических часов обсерватории. Позже таким же способом устанавливались часы на московских вокзалах, показания которых, уже по телеграфу, передавались по всем железным дорогам.

Разумеется, все эти способы не могли обеспечить точность сигналов проверки часов точнее 1 секунды. Бурное развитие техники в конце XIX и особенно в XX в. потребовало более совершенных способов хранения и распространения времени. При крупных обсерваториях начали создаваться специальные лаборатории, разрабатывающие всю совокупность задач, связанных с распространением, хранением и определением точного времени. Такие лаборатории получили наименование Служб времени той или другой обсерватории. Новым и важным в их работе стало то, что сигналы времени стали распространяться по радио. Это позволило относительно просто сравнивать между собой наблюдения различных Служб времени, вычислять их ошибки, координировать их работу и связать их все в единую систему. И когда в 1919 г. был создан Международный астрономический союз (МАС), одним из первых его решений было организовать Международное бюро времени (МБВ), вступившее в действие как международный орган с 1 января 1920 г. и разместившееся в Парижской обсерватории.

В нашей стране первой начала передачу радиосигналов точного времени с 1 декабря 1920 г. Пулковская обсерватория. Но уже скоро стало ясно, что точное время — это не просто продукт астрономических наблюдений, а одна из фундаментальных метрических единиц, такая же, как метр или килограмм. Поэтому вторая Служба времени возникла при Главной палате мер и весов в Петрограде — ныне Всесоюзном научно-исследовательском инсти-

туте метрологии (ВНИИМ) в Ленинграде. Для обслуживания восточных районов нашей страны была организована Служба времени при Ташкентской обсерватории, которая стала транслировать свои радиосигналы с 1929 г. В 1931 г. начала передачу радиосигналов Служба времени ГАИШ. В последующие годы стали действовать

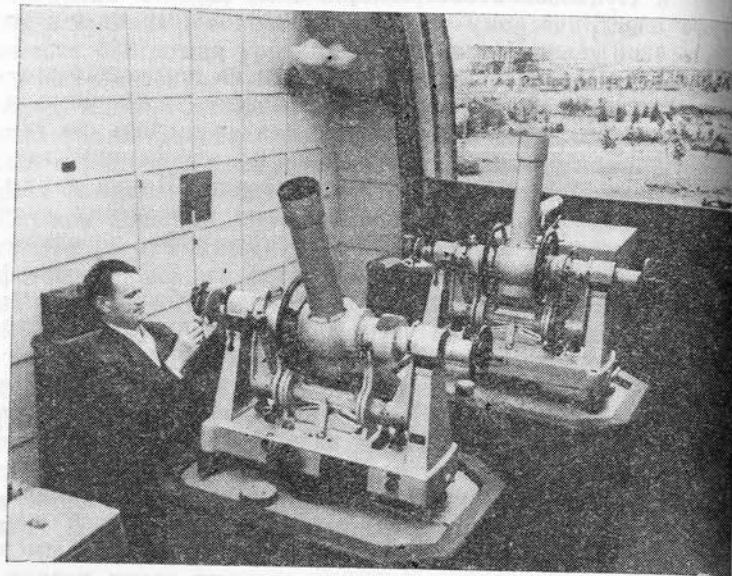


Рис. 78. Пассажные инструменты Службы времени ГАИШ

Службы времени ЦНИИГАиК в Москве, Астрономических обсерваторий в Харькове и Николаеве, не передающие сигналов времени. Каждая Служба времени располагала одним или двумя малыми пассажными инструментами (рис. 78), одним или несколькими маятниковыми астрономическими часами, радиоаппаратурой и приборами для сравнения часов. Координацию осуществлял Межведомственный комитет Службы времени при Пулковской обсерватории, которая выводила «сводные моменты» и публиковала их в своих изданиях. С помощью астрономических наблюдений определялось всемирное среднее солнечное время, обозначаемое ТУ.

Особенно трудные, ответственные задачи встали перед Службой времени в тяжелые военные годы. Об этом уже

рассказывалось в разделе о Московской обсерватории. Важно, что советские астрономы успешно решили и эту сложную задачу.

В послевоенные годы изменился характер работы Служб времени. Значительно возросло их число, повысилась точность наблюдений, вступили в строй новые, более точные инструменты: фотоэлектрические пассажные инструменты, призменные астролябии, фотографические зенитные трубы.

Но принципиально новым оказалось другое. Применявшиеся на обсерваториях высокоточные маятниковые часы главным образом английской фирмы Шорт или завода Эталон (СССР), являвшиеся шедевром точной механики, все же обладали вариацией суточного хода порядка $\pm 0,003—0,005$ с. В 50-е годы в практику работ Служб времени начали вводиться кварцевые часы, точность которых достигала 0,0001 с в сутки. И сразу стали ясны не только недостатки маятниковых часов, но и то, о чем ученые только подозревали раньше — сама Земля вращается неравномерно, и неравномерности эти нельзя было ранее обнаружить из-за ошибок хода маятниковых часов.

Неравномерность вращения Земли имеет сложный характер и не может быть выражена какой-нибудь одной формулой. Она складывается из *векового изменения* — постепенного замедления, вызываемого влиянием лунных и солнечных приливов, из-за чего продолжительность суток увеличивается на 0,001—0,002 с за столетие; *сезонных вариаций* с годовым и полугодовым периодом, обусловленных сезонными изменениями климата планеты и меняющих продолжительность суток на величину до 0,0012 с (обычно самые длинные сутки бывают зимой, а самые короткие — летом), а также *нерегулярных изменений*, непредсказуемых, причин которых пока не установили, и из-за них изменения продолжительности суток могут меняться в пределах 0,004 с. Есть и еще одна причина. На скорость вращения Земли она непосредственно не влияет, но на точное определение времени влияет. Это — изменение положения оси вращения в теле Земли. Оно выражается в изменении положения полюса на поверхности Земли и, следовательно, в изменении широты и долготы пунктов на земной поверхности. Явление это называется *движением полюсов Земли*. Оно невелико и представляет собой кривую переменной амплитуды, не выходящую из квадрата со сторонами около 20 м.

Сочетание всех этих факторов не позволяет уже считать вращение Земли эталоном времени. Возникла необходимость создания новых, более точных стандартов времени, работающих на других принципах. И такие стандарты были созданы в виде стандартов частоты, основанных на квантовых переходах в атомах цезия и водорода атомных часов, определяющих равномерное атомное время — ТА. В 1967 г. отказались от астрономической секунды в качестве международной единицы времени и условились, что секунда — это есть продолжительность 9 192 631 770 колебаний излучения, соответствующая частоте перехода между двумя уровнями сверхтонкой структуры основного состояния атома цезия-133 при отсутствии возмущений со стороны внешних полей.

Таким образом, определение времени перешло от астрономов к физикам. Служба времени (хранение и распространение точного времени) перешла в ведение Всесоюзного научно-исследовательского института физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ). Там создан Государственный первичный эталон времени и частоты (ГЭВЧ), содержащий два метрологических цезиевых репера частоты. Точность этого эталона возросла более чем в 1000 раз, и средняя квадратическая ошибка отклонения измерения единицы времени составляет $5 \cdot 10^{-14}$, т. е. два подобных эталона разошлись бы между собой на секунду только за 30 000—100 000 лет. ГЭВЧ обеспечивает нашу промышленность и науку самым точным временем, для чего круглосуточно передаются специальные радиосигналы точного времени более чем десятком радиостанций Советского Союза. Для обычных целей передаются хорошо всем известные шесть точек в начале каждого часа по всем основным программам радиовещания.

Значит, астрономические наблюдения стали не нужными? Нет, они по-прежнему нужны. Произошло разделение Служб времени на лаборатории, которые хранят точное атомное время ТА и передают сигналы точного времени, и те обсерватории, которые получают из наблюдений параметры вращения Земли и всемирное среднее солнечное время TU. Наша жизнь и явления природы по-прежнему определяются вращением Земли, и за астрономией остается задача определения разности между всемирным и атомным временем, или, иначе говоря, оп-

ределение параметров вращения Земли. В международном масштабе эту работу ведет МБВ в Париже, в Советском Союзе сводные моменты вычисляются ВНИИФТРИ и публикуются в бюллетенях «Всемирное время». В создании советской шкалы всемирного времени TU1(SU) принимает участие 21 астрономическое учреждение, в том числе Службы времени (как они пока по традиции называются) ГАО АН СССР в Пулковке, Объединенная Служба времени ГАИШ и ЦНИИГАиК, ВНИИФТРИ под Москвой, Ленинградского университета, Ташкентской обсерватории (АИ УзССР), ВНИИ метрологии в Ленинграде, Николаевского филиала ГАО АН СССР, Латвийского университета в Риге, объединенные Службы времени СибВНИИФТРИ и Иркутского университета, Харьковского ГНИИ и Харьковского университета, СибНИИ-метрологии в Новосибирске, астрономические учреждения Болгарии, ГДР, Монголии, Польши, Румынии, Чехословакии и Югославии.

Наблюдения изменчивости широты и движения полюса ведутся в ГАО АН СССР в Пулковке, на астрономической обсерватории им. Энгельгардта, на Полтавской гравиметрической обсерватории, в ГАИШ, на широтной станции города Горького, широтных станциях Благовещенска и Иркутска и на ряде других широтных обсерваторий Советского Союза и социалистических стран. Описывать их все нет необходимости. Здесь расскажем об одной из них.

§ 36. Китабская международная широтная станция им. Улугбека

Смещения полюсов Земли невелики, и изменения широты какой-либо обсерватории из-за этого явления не превосходят $\pm 0,3''$. Чтобы уловить такие движения, нужно несколько наблюдательных станций, целесообразно расположенных. Каждая станция определяет свою широту, опираясь на известные координаты звезд, взятые из каталога. А в каталоге положения определены тоже из наблюдений, и ошибки этих положений сравнимы по величине с изменчивостью широты. И если две станции будут использовать разные звезды, то не всегда можно разделить, из-за чего происходят наблюдающиеся различия: из-за действительного изменения широты или из-за ошибок положений звезд в каталоге. Чтобы избежать

влияния последних, широтные станции должны наблюдать одни и те же звезды, а для этого, по существующей методике, станции должны располагаться на одной широте. Кроме того, чтобы обе координаты движения полюса определялись одинаково точно, станции должны быть разнесены друг от друга на 90° по долготе. А если станций на данной широте больше четырех, то они должны быть равномерно распределены по долготе.

Поэтому, когда в 1899 г. создавалась Международная служба широты, то была выбрана общая широта $+39^\circ 08'$ и на ней было построено пять станций: Карлофорте в Италии, Чарджуй (ныне Чарджоу) в России, Мицуава в Японии, Юкайя и Гейтерзбург на западном и восточном побережьях США.

В 1919 г., вследствие Гражданской войны и разрухи, работы на Чарджуйской станции были свернуты. Но из-за этого нарушилась равномерность распределения станций по долготе, и в 1930 г. на той же широте $39^\circ 08'$ была открыта новая широтная станция около города Китаба, в Узбекской ССР. Административно станция сейчас подчиняется Астрономическому институту АН УзССР. Первоначально на станции был установлен зенит-телескоп Аскания-Верке ($D = 110$ мм, $F = 129$ см), маятниковые часы и радиоприемная аппаратура. Первое время в Китабе велись только определения широты. После войны Китабская станция получила новую аппаратуру, в том числе второй зенит-телескоп отечественного производства ЗТЛ-180. Наблюдения стали проводиться на двух зенит-телескопах по единой международной программе (рис. 79).

Руководит станцией с 1954 г. А. М. Калмыков.

С 1974 г., согласно постановлению Международного астрономического Союза (МАС), на Китабскую станцию перенесли из Пулковской фотографической зенитной трубы (ФЗТ). Наблюдения на ФЗТ и анализ их результатов проводятся ГАО АН СССР и Китабской широтной станцией совместно. В результате такого сотрудничества Китабская обсерватория определяет не только широту, но и время.

Затем на станции был установлен двойной широкоугольный астрограф Цейса ($D = 400$ мм, $F = 300$ см, поле $6 \times 6^\circ$), на котором Китабские астрономы развернули наблюдения по астрометрическим и звездно-астрономическим программам. Были установлены и некоторые другие приборы. В результате Китабская станция прев-

ратилась в современную, хорошо оборудованную астрометрическую обсерваторию, а благодаря большому числу ясных ночей и энтузиазму наблюдателей ее значение в ряду научных учреждений существенно возросло.

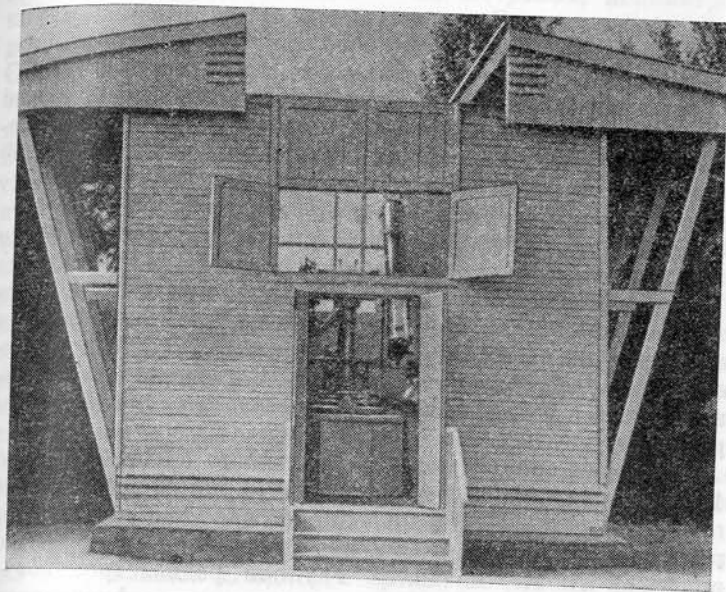


Рис. 79. Павильон нового зенит-телескопа ЗТЛ-180 Китабской международной широтной станции им. Улугбека

В практику определения параметров вращения Земли все шире входят новые, нетрадиционные методы. К таким методам относятся определения времени по радиолучам с помощью радиointерферометров со сверхдлинной базой (РСДБ); уже проведены пробные наблюдения с радиointерферометром, опирающимся на РТ-22 КРАО на Южном берегу Крыма в Качивели и РТ-22 ФИАН под Москвой, в Пущине. Уверенные результаты определения координат полюса получены по наблюдениям лазерными дальномерами ИСЗ и Луны. Эти эксперименты дают весьма обнадеживающий результат, точность которого выше, чем у классических методов. В будущем они, несомненно, станут играть все более важную

роль. Именно из анализа результатов, полученных принципиально разными методами, будет найдено решение задачи изучения формы, размеров, внутреннего строения и параметров вращения Земли.

§ 37. Радиоастрономические обсерватории

Первые радиоастрономические наблюдения в нашей стране начались вскоре после окончания Великой Отечественной войны, хотя теоретические исследования проблем радиоастрономии делались и раньше. Еще задолго до войны, в 1925 г., академики Н. Д. Папалекси (1880—1947) и Л. И. Мандельштам (1879—1944) анализировали возможность радиолокационных измерений расстояния до Луны. Уровень радиотехники в то время не позволял это осуществить. Папалекси и Мандельштам вернулись к этой идее в годы Великой Отечественной войны. Их исследования, опубликованные в 1946 г., показали реальность таких измерений, но осуществлены они были за рубежом.

Для наблюдений полного солнечного затмения 20 мая 1947 г. в Бразилию на теплоходе «Грибоедов» была направлена комплексная экспедиция, в состав которой входили как астрономы, так и радиофизики. Руководил экспедицией А. А. Михайлов, группой радиоастрономов — С. Э. Хайкин и Б. М. Чихачев, сотрудники физического института им. Лебедева АН СССР (ФИАН). Для наблюдений использовалась антенна оставшейся от войны радиолокационной станции дальнего обнаружения, не имевшая поворотного устройства. По предложению С. Э. Хайкина полотно антенны просто положили на палубу и поднимали за один край с помощью корабельных лебедок. Поворот по азимуту осуществлялся поворотом всего корабля при помощи двух заведенных на сушу якорей.

Погода не благоприятствовала оптическим наблюдениям, но радиоастрономические наблюдения завершились полным успехом. Интенсивность радиоизлучения Солнца во время полной фазы затмения снизилась только на 40%, т.е. для радиодиапазона электромагнитного излучения затмение было не полным, а кольцевым. Тем самым было открыто предсказанное теоретически советскими астрономами радиоизлучение солнечной короны на метровых волнах.

Этот успех (впрочем, аналогичные результаты были получены и радиоастрономами Австралии) дал толчок бурному развитию радиоастрономии.

Научные организации получили несколько локационных станций для наблюдений на метровых, дециметровых и сантиметровых длинах волн. Значительную поддержку этому делу дал директор ФИАН, президент АН СССР, академик С. И. Вавилов. Были созданы наблюдательные базы ФИАН в Крыму, Горьковского государственного университета на станции Зименки, на берегу Волги, в 30 км от Горького. В это время проводятся исследования условий распространения радиоволн в земной атмосфере, создаются первые, пока еще скромные, радиотелескопы, радиометрические приемники, радиоинтерферометры для наблюдений в широком диапазоне длин волн от 14 м до 3 см. Практические работы были направлены в основном на развитие радиоастрономической техники, а наблюдения — на изучение радиоизлучения спокойного и активного Солнца и поиски наиболее ярких космических радиоисточников. Большую роль сыграли теоретические исследования, выполненные академиком АН СССР В. Л. Гинзбургом, членами-корреспондентами И. С. Шкловским (1916—1985), Н. С. Кардашевым и другими учеными ФИАН, ГАИШ, НИРФИ.

Радиоастрономические наблюдения получили как бы два направления. С одной стороны, астрономы были заинтересованы в исследовании астрономических объектов, таких, как области ионизованного водорода, остатков сверхновых звезд, в том числе Крабовидной туманности, внегалактических радиоисточников, а также физики расширяющейся Вселенной. С другой стороны, радиофизики были заинтересованы в радиотехнических экспериментах, для чего удобнее было наблюдать Солнце, а собственно астрономия их волновала мало. Доходило до того, что радиофизики говорили: «Нам астрономы не нужны, разве что для расчетов эфемерид». Астрономам пришлось учиться экспериментальной радиоастрономии, а радиофизикам — астрономии. Поэтому радиоастрономические отделы возникли как на астрономических обсерваториях, так и в радиофизических институтах. О радиоастрономии на обсерваториях было рассказано выше, а здесь упомянем в основном об организации радиоастрономических отделов в радиофизических институтах.

В ФИАН, под руководством С. Э. Хайкина, была образована Крымская экспедиция, которая построила не-

сколько наблюдательных баз, в том числе на горе Кошка, рядом с Симеизской обсерваторией, базу в Алушке на Севастопольском шоссе, базу в Рабочем уголке в Алуште и базу в Качивели, рядом с лабораторией Черноморского отделения Морского гидрофизического института АН СССР (ЧОМГИ), основанной академиком В. В. Шулейкиным. В 50-х годах эти базы проявили значительную активность. На них под руководством В. В. Виткевича было построено около двадцати радиотелескопов различной конструкции и 19 радиоинтерферометров. Наблюдая с помощью двух радиоинтерферометров с базами 700 и 1200 м покрытия солнечной короной Крабовидной туманности, В. В. Виткевич пришел к выводу о существовании «сверхкороны» Солнца, простирающейся почти до орбиты Меркурия. Эта работа была удостоена Государственной премии СССР за 1968 г.

В 1956 г. в Горьком был образован Научно-исследовательский радиофизический институт (НИРФИ), которому был передан радиоастрономический полигон в Зименках. В 1958 г. на базе отдела радиоастрономии Бюраканской обсерватории был создан Институт радиофизики и электроники АН АрмССР, в котором в 60-х годах был построен большой Т-образный интерференционный радиотелескоп с антеннами размахом 216 м, работающий на волне 75 см. Отделы радиоастрономии возникли в Государственном астрономическом институте им. П. К. Штернберга (в 1953 г. руководителем отдела стал И. С. Шкловский), Институте радиофизики и электроники АН УССР (ИРЭ АН УССР), который был создан в Харькове в 1955 г., в Институте земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн АН СССР (ИЗМИРАН), Сибирском институте земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн (СибИЗМИР), в Радиофизической обсерватории АН ЛатвССР и в некоторых других организациях.

Работы Крымской экспедиции ФИАН получили дальнейшее развитие. Там был построен точный пассажный неподвижный параболический радиотелескоп РТ-31 с антенной диаметром 31 м, позволяющий проводить наблюдения на длинах волн до 5 см. На нем продолжались наблюдения Солнца, Крабовидной туманности и «сверхкорона». В частности, было установлено, что «сверхкорона» усиливается и увеличивается в размерах с ростом активности Солнца в ходе 11-летнего цикла солнечной активности. Тогда же, начиная с 1954 г., началось про-

ектирование первого советского большого полноповоротного радиотелескопа РТ-22. Его было решено установить на новой базе под Москвой, в Пущине. При его постройке впервые в СССР была решена задача создания рефлектора антенны с точностью поверхности в доли миллиметра. Несколько позже началось строительство «диапазонного крестообразного» радиотелескопа ДКР-1000 с синфазными антеннами длиной 1000 м. Он полностью вошел в строй в 1965 г. В связи с организацией Пушинской радиоастрономической станции (РАС) ведущие радиоастрономы ФИАН переезжают в Пушино, а Крымская научная станция значительно сокращает объем своих работ.

В эти же годы в НИРФИ под руководством В. С. Троицкого, под Судакком в Крыму, создается радиоастрономическая станция «Карадаг». Там, на скале возле Генуэзской крепости, была установлена «искусственная Луна» диаметром около четырех метров, а внизу, на берегу моря, были размещены радиотелескопы для исследования Луны. В результате этих наблюдений В. С. Троицкий и В. Д. Кротиков открыли увеличение температуры Луны с глубиной и выполнили другие интересные работы. Для исследования поляризации и спектра галактического радиоизлучения в 1964 г. в селе «Старая Пустынь» создается другая радиоастрономическая станция НИРФИ, на которой установлены несколько радиотелескопов среднего размера и три 14-метровые радиоантенны, объединенные в поляризационный интерферометр с переменной базой. В 1965 г. на Волге, в городе Васильевске строится лаборатория НИРФИ «Васильевск» для исследований в области нелинейных явлений в ионосфере, радиоастрономии и ионосферного распространения радиоволн. В 1969 г. там строится радиотелескоп метровых волн с антенной 30×50 м, наклоненный на угол 19° к горизонту и вращающийся только по азимуту.

Для наблюдательной базы Института радиофизики и электроники АН УССР, образовавшегося на базе радиофизических отделов Харьковского ФТИ АН УССР, была выделена территория около станции Граково, в 80 км к юго-востоку от Харькова. Там были построены сначала два декаметровых интерферометра ИД-1 и ИД-2, работающие как меридианные инструменты. В 1966 г. введен в строй большой «Украинский Т-образный радиотелескоп» УТР-1, первая антенна которого, ориентированная с севера на юг, содержала 80 вибраторов и имела в длину

600 м, вторая — с востока на запад, состояла из 128 вибраторов, расположенных в два ряда, и достигала длины 576 м. На основе опыта работы с УТР-1 был разработан и построен в 1972 г. радиотелескоп УТР-2, с взаимно перпендикулярными антеннами: первая, расположенная по линии север — юг, имеет длину 1860 м и содержит

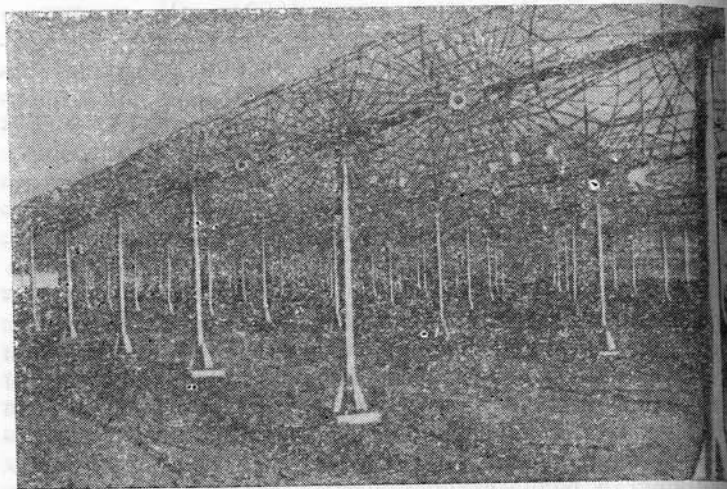


Рис. 80. Фрагмент антенного поля большого украинского Т-образного радиотелескопа УТР-2 ИРЭ АН УССР

1440 вибраторов (6 рядов по 240 параллельных вибраторов в каждом ряду); вторая, перпендикулярная первой в ее центре, состоит из 600 вибраторов в шести рядах и имеет длину 900 м. Подобная антенна позволяет достичь высокой разрешающей способности. С ней произведены наблюдения радиоизлучения пульсаров, Юпитера и его спутников, тонкой структуры Крабовидной туманности.

В 70-е годы вошли в строй и другие уникальные радиотелескопы, такие как РАТАН-600, о котором говорилось выше, Большая сканирующая антенна БСА ФИАН для исследования пульсаров, межпланетной плазмы, остатков вспышек сверхновых звезд, скоплений галактик (радиофизики уже почувствовали вкус к астрономии) и других объектов, пассажный радиотелескоп на миллиметровых волнах в НИРФИ.

Радиоастрономические наблюдения существенно расширили наши представления о Вселенной. Были открыты тысячи космических радиоисточников — Солнце и его сверхкорона, планеты, нейтронные звезды, пульсары, галактики и квазары. В радиодиапазоне открыты линии многих химических элементов и молекул. Исследовалось реликтовое излучение и была доказана его однородность по всем направлениям.

Успехи радиоастрономии вдохновляющи. Но все же следует помнить, что наиболее полные научные достижения удается получить тогда, когда сочетаются все виды астрономических наблюдений — и оптические, и радиоастрономические, и внеатмосферные.

§ 38. Наземная гамма-астрономия

Земная атмосфера не пропускает гамма-излучение, обозначаемое для краткости γ -излучение. Это так, но тем не менее наблюдать, регистрировать его с поверхности Земли оказалось возможным. Ту его часть, которая обусловлена квантами высокой и сверхвысокой энергии, когда энергия γ -квантов достигает 100 МэВ или 1 000 000 МэВ соответственно. Последнее число очень велико — ведь это 10^{12} эВ. Суть в том, что квант сверхвысокой энергии, попадая в атмосферу Земли, взаимодействует с ядрами атомов воздуха и образует пару частиц — электрон и позитрон (реакция $\gamma \rightarrow e^+ + e^-$), передавая им свою энергию. Эти частицы, в свою очередь, взаимодействуя с другими атомами, образуют γ -кванты меньшей энергии. Возникает лавинообразный процесс, продолжающийся до тех пор, пока электроны не начинают терять часть своей энергии на ионизацию атомов воздуха. До поверхности Земли эта лавина не доходит, она рассеивается в основном на высотах 6—8 км.

В ходе этого процесса частицы (именно частицы, а не γ -кванты), обладающие энергией 35 МэВ или более, движущиеся со скоростью света в воздухе, вызывают черенковское свечение в атмосфере, которое может наблюдаться в оптическом диапазоне. Продолжительность такой черенковской вспышки очень кратковременна — порядка 0,000 000 004 с.

Для наблюдений черенковского свечения в атмосфере могут использоваться достаточно крупные рефлекторы с зеркалами не менее 1 м в диаметре и фотоэлектрической регистрацией излучения, позволяющей считать число

вспышек, попадающих в поле зрения телескопа: черенковское излучение имеет направленный характер, и угловые размеры его на небе не более градуса. Регистрируя такие вспышки, можно определить энергию и направление первичного γ -излучения.

Трудности наземных наблюдений γ -излучения носят двойной характер. С одной стороны, подобное же черенковское свечение в атмосфере вызывается еще и космическими лучами — потоком элементарных частиц высокой энергии, в основном протонов и тяжелых ядер. Этот поток составляет примерно 1 частицу на 1 см^2 за секунду и приходит со всех сторон равномерно, т. е. изотропно. Гамма-излучение от конкретных источников поступает лишь в определенном направлении. Поэтому отделить вспышки, происходящие под действием космических лучей, от вспышек, вызванных γ -квантами, можно только статистически. Другие трудности связаны с тем, что поток частиц и квантов высокой энергии очень слаб (одна вспышка происходит примерно раз в секунду) и на него накладываются еще случайные флуктуации, так что чтобы выделить поток γ -излучения от какого-либо астрономического объекта, необходимы длительные, зачастую требующие нескольких лет наблюдения. При этом для таких наблюдений нужны не просто ясные ночи, но ночи с высокой прозрачностью. И разумеется, такие наблюдения возможны только в безлунные ночи.

В нашей стране подобные наблюдения уже давно ведутся в КрАО. Они позволили А. А. Степаняну и группе сотрудников обнаружить γ -излучение от двойной рентгеновской системы Лебедь X-3 и ряда других объектов.

А недавно, в 1985 г., в КрАО был построен высокочувствительный гамма-телескоп для регистрации черенковских вспышек. Он состоит из двух секций, каждая на своей азимутальной монтировке. Одна секция объединяет шесть четырехзеркальных элементов. Отдельное зеркало имеет диаметр 120 см и фокусное расстояние 5 м. Такие параметры были выбраны, чтобы получить достаточно качественное изображение черенковской вспышки с разрешением не хуже $0,1^\circ$. Все зеркала были изготовлены в мастерских КрАО (рис. 81). Качество их изготовления не такое высокое, как у обычных телескопов, и они не пригодны для обычных наблюдений. Их толщина не превосходит 15 мм (у обычных рефлекторов они имели бы толщину 20—25 см) и при поворотах телескопа они заметно прогибаются, но зато имеют малый вес, и

на монтажке каждой секции оказалось возможным разместить 24 зеркала. Четыре зеркала каждого элемента собирают изображение в общем фокусе, где размещен фотоприемник из 19 фотоумножителей. Чтобы полнее использовать площадь поля зрения, перед каждым фотоумножителем установлен конический световод из оргстекла.

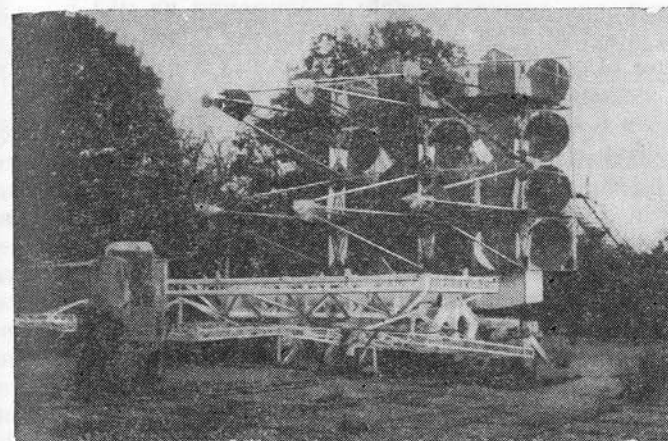


Рис. 81. Высокочувствительный 24-зеркальный гамма-телескоп Крымской астрофизической обсерватории

В результате полного внутреннего отражения от стенок световода весь свет, попавший на его внешнюю поверхность, собирается на нижнем, узком основании, площадь которого соответствует площади приемной поверхности катода фотоумножителя. Благодаря этому работает вся площадь приемного устройства. Сигналы с фотоумножителей усиливаются, переводятся в цифровую форму и передаются в память ЭВМ, которая анализирует сигналы со всех 19 фотоумножителей и определяет форму и эффективные размеры вспышки. Эта же ЭВМ используется для управления секциями γ -телескопа, давая команды на повороты монтировки вокруг горизонтальной и вертикальной осей для наведения на интересующий астрономов объект. Без применения ЭВМ было бы невозможно зафиксировать и обработать всю ту огромную информацию, которая поступает со всех 114 фотоумножителей каждой секции.

Наличие двух секций позволяет расширить наблюдательные возможности гамма-телескопа. Стало возможным проводить сравнительные наблюдения, когда одна секция направлена на исследуемый источник, а другая — на соседний участок, где источника γ -квантов нет, и регистрировать на первой суммарный поток вспышек, а на второй — только вспышки от космических лучей. Первая секция уже вошла в строй: наблюдения на ней были начаты осенью 1984 г. Вторая начнет работать, видимо, в этом году. Часть четырехзеркальных элементов-телескопов используется для регистрации черенковских вспышек не в оптическом, а в ультрафиолетовом диапазоне с $\lambda < 3000 \text{ \AA}$, что помогает выделить вспышки от γ -квантов.

Подобные наблюдения с поверхности Земли уже позволили обнаружить ряд источников γ -квантов высокой энергии. Это — двойные рентгеновские системы Лебедь X-1 и Геркулес X-1, радиогалактика Центавр А, квазар 3С 273, пульсары в Крабовидной туманности и в созвездии Парусов (причем установлено, что γ -излучение от пульсаров меняется с той же частотой, что и радиоизлучение), источник в центре Галактики. Подробнее об этом можно прочитать, например, в книге И. А. Климишина «Астрономия наших дней». — М.: «Наука», 1986.

§ 39. Обсерватория в недрах горы

Собственно говоря, тут уже возникает вопрос: астрономия ли это вообще? Ведь астрономия получает свои представления о других небесных телах только по их излучению. Это может быть оптическое, инфракрасное, ультрафиолетовое, радио- или гамма-излучение, но все это фотоны разной энергии. А в данном случае дело идет о нейтрино — частицах совершенно другой физической природы.

Астрономы уже пытались иметь дело с другими частицами. Одно время они довольно подробно занимались космическими лучами — потоком заряженных частиц высокой энергии, в основном протонов и α -частиц, но также и ядер других химических элементов. Но выяснилось, что космические лучи приходят к Земле со всех сторон равномерно и их изучение ничего не говорит о том, где расположены их источники, и, следовательно, их нельзя отождествить с конкретными объектами. В результате астрономы охладели к космическим лучам, справедливо считая, что это скорее тема физиков, нежели астрономов.

И вот — «нейтринная астрономия»... Что это такое и астрономия ли это вообще?

В 1956 г. в лабораторном эксперименте была обнаружена новая элементарная частица — нейтрино, обладающая удивительными свойствами: будучи электрически нейтральной, она обладает нулевой или ничтожно малой массой покоя. Собственно, понятие «новая» не совсем точно: теоретически ее существование было предсказано еще в 1931 г. швейцарским физиком-теоретиком Вольфгангом Паули. Благодаря своим особенностям нейтрино исключительно слабо взаимодействует с веществом. Вычислено, что длина свободного пробега нейтрино даже в столь плотной среде, какой являются недра звезд, составляет 10^{17} см, что сравнимо с расстоянием между звездами (напомним, что один световой год составляет $9,5 \cdot 10^{17}$ см). Поэтому нейтрино способно «проскочить» сквозь любую звезду, «не обращая на нее внимания». Естественно, нейтрино проникает сквозь тело Земли, не оставляя сколько-нибудь заметных следов.

Выдающийся физик, академик АН СССР Б. М. Понтекорво первым указал на важность изучения нейтрино для исследования глубинных областей звезд и в первую очередь — Солнца. По принятой сейчас теории считается, что основной термоядерной реакцией, происходящей в недрах Солнца, является протон-протонный цикл, в ходе которого четыре протона ^1H , пройдя цепь ядерных реакций, образуют ядро атома гелия ^4He . В ходе промежуточных реакций испускаются несколько нейтрино и выделяется около 26 МэВ энергии, которая в конечном счете и обеспечивает светимость Солнца. В зависимости от того, как протекает реакция, нейтрино получает энергию от нуля до 14,06 МэВ. По принятой пока модели больше всего нейтрино с энергией около 0,4 МэВ — таких около 80%, с энергией 0,86 МэВ — таких около 20%, и 14,4 МэВ — таких меньше, но все же немало — около 0,23%.

Доля энергии нейтрино существенно зависит от конкретных условий в глубинах Солнца, от того, каковы температура и давление в центре Солнца. Особенно это влияет на количество нейтрино высоких энергий. Да и термоядерные реакции могут протекать не только по протон-протонному циклу, а, например, по углеродно-азотному циклу, начиная с захвата протона ^1H ядром атома углерода ^{12}C и заканчиваясь образованием ядра атома гелия ^4He и выделением ^{12}C . Спектр энергии нейтрино,

испускаемых в ходе этого цикла, будет иным: в нем преобладают нейтрино с энергиями 1,18 и 1,68 МэВ. Но в любом случае количество нейтрино, определяемое по общей светимости Солнца, составляет 10^{39} в секунду, и поток их, проходящий через Землю, огромен: $6 \cdot 10^{10}$ в секунду через каждый квадратный сантиметр! Мы буквально «омываемся» потоком нейтрино!

Но в силу своей огромной проникающей силы нейтрино ничем не обнаруживают себя. Вероятность взаимодействия солнечных нейтрино с земным веществом ничтожно мала. Это делает эксперименты по обнаружению

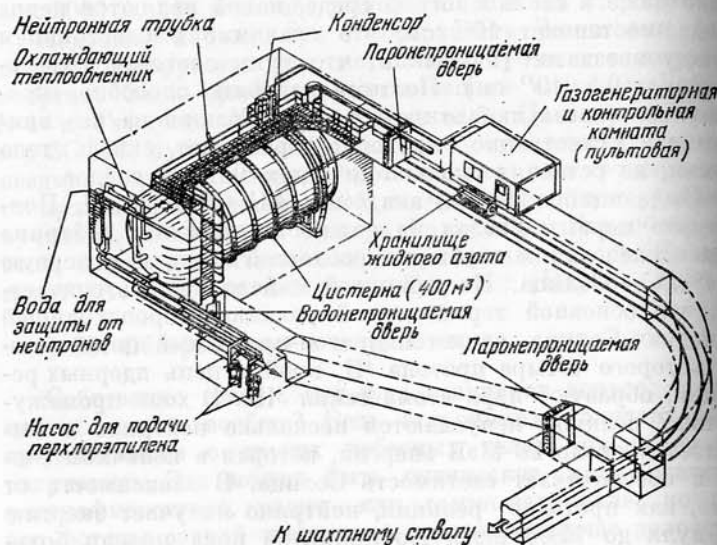


Рис. 82. Схема нейтринного телескопа Дэвиса

нейтрино неимоверно трудоемкой задачей. Но еще в 1946 г. Б. М. Понтекорво указал одну из возможностей регистрации нейтрино. При взаимодействии нейтрино с изотопом хлора ^{37}Cl образуется радиоактивный изотоп аргона ^{37}Ar . Вероятность поглощения нейтрино изотопом хлора крайне мала, но долгое время эта реакция была единственной, позволяющей обнаружить солнечные нейтрино.

Практически эта реакция реализовалась с помощью «рабочего тела», в качестве которого используется пер-

хлорэтилен C_2Cl_4 — достаточно дешевая, не ядовитая, не огнеопасная жидкость, используемая в бытовой химии как средство для очистки поверхностей.

Начиная с 1955 г. американский физик-экспериментатор Р. Дэвис применяет этот метод для регистрации солнечных нейтрино. Его «нейтринный телескоп» был установлен в золотоносной шахте в Хоумстейке, штат Южная Дакота, на глубине 1490 м. Конечно, телескопом подобная установка может быть названа довольно условно. По существу, это скорее детектор для улавливания нейтрино, но детектор, имеющий достаточно грандиозные размеры (рис. 82). Главная его часть — горизонтальный цилиндрический бак диаметром 6 и длиной 14,4 м, вмещающий 400 000 литров перхлорэтилена (это примерно объем стандартного плавательного бассейна длиной 25 м). Перхлорэтилен содержит достаточно большое количество изотопов ^{37}Cl — каждый четвертый атом хлора является таким изотопом.

Установка нейтринного телескопа на большой глубине связана с необходимостью свести к минимуму другие внешние воздействия, вызывающие образование радиоактивного аргона, в первую очередь воздействие космических лучей, для которых гора непреодолима, и естественной радиоактивности.

Примерно каждые 2—3 месяца Р. Дэвис с группой сотрудников прилетают в Хоумстейк, спускаются в шахту, продувают бак с перхлорэтиленом потоком газообразного гелия, который выносит с собой образовавшиеся изотопы ^{37}Ar . Таких атомов за этот срок образуется очень немного, всего около сорока. Их выделяют, пропуская гелий через угольные ловушки, охлажденные до 77 К, а затем с помощью счетчиков регистрируется распад изотопов. Завершение опыта и подготовка к новому циклу длятся примерно неделю, а в промежутках за установкой следит только одна лаборантка, которая снимает показания контрольных приборов.

За время с 1970 по 1982 г. таких циклов было проведено 72. Они показали, что изотопов ^{37}Ar в баке образуется $0,43 \pm 0,05$ атома в день. Из них 0,1 атома образуется под воздействием остаточного потока космических лучей. На долю нейтрино приходится 0,33 атома в день, или один атом в три дня, хотя были циклы, когда было зарегистрировано более одного атома в день и когда за два месяца не было зарегистрировано ни одного атома, ни от нейтрино, ни от фона. Но такие циклы счи-

таются статистической флуктуацией. Высокая надежность результата подтверждена контрольными экспериментами в лабораторных условиях.

Первые известия о полученных данных заставили теоретиков усомниться в правильности как принятой модели строения внутренних областей Солнца, так и в фундаментальных свойствах нейтрино. По теории, число зарегистрированных нейтрино должно было бы быть по меньшей мере в 7 раз больше. Правда, исследователи отдавали себе отчет, что подобный «нейтринный телескоп» регистрирует не все солнечные нейтрино, а только те, которые обладают энергией не ниже 0,82 МэВ, менее энергичные зарегистрированы не будут. Преобразовывать ^{37}Cl в ^{37}Ar может только небольшая часть солнечных нейтрино. Но и эта «небольшая» часть составляет $5 \cdot 10^8$ частиц через 1 см^2 за секунду. Полученный результат требует более внимательного отношения к теории строения и эволюции Солнца, в первую очередь к теории перемешивания вещества в его недрах: если образовавшийся в ходе реакции гелий накапливается в центре Солнца, то температура там достигает $15 \cdot 10^6 \text{ K}$ (именно эта величина принималась в расчет по принятой модели Солнца); если же происходит перемешивание гелия по всему объему Солнца, то температура в центре была бы ниже, примерно $13 \cdot 10^6 \text{ K}$, и количество нейтрино высокой энергии было бы ближе к наблюдаемому. Поэтому, строго говоря, эксперименты Дэвиса не противоречат теории строения Солнца.

Но возможно и другое. Установлено, что существуют разные типы нейтрино: электронное, мюонное и τ -нейтрино и соответствующие им антинейтрино. Можно предположить, что на пути к Земле нейтрино подвергаются осцилляции — взаимному превращению нейтрино одного типа в нейтрино другого. В результате этого скорость образования ^{37}Ar будет меньше, чем это предсказывалось теорией. И здесь возникает важное обстоятельство: если в действительности происходит осцилляция, то, по-видимому, нейтрино должны иметь массу покоя. Эксперименты группы сотрудников Института экспериментальной и теоретической физики под руководством В. А. Любимова, проведенные в 1983 г., как считается, подтверждают это предположение. Но в таком случае, согласно модели горячей Вселенной, следует, что общая масса нейтрино, имеющихся во Вселенной, на порядок больше общей массы всего остального вещества, а это ведет к далеко

ведущим космологическим и астрофизическим следствиям.

Как видим, наблюдения нейтрино ставят и перед физиками, и перед астрофизиками много вопросов. Скорее всего, наблюдаемый результат все-таки так или иначе связан с какими-то процессами на Солнце. Он доказывает, что энергия звезд основана на термоядерных реакциях. Тем самым изучение солнечных нейтрино становится одной из самых интересных задач астрофизики XX в., а нейтринная астрономия — полноправным разделом этой науки.

Но пусть солнечные нейтрино зарегистрированы. Как доказать, что они имеют действительно солнечное происхождение? Доказать это можно, сравнивая поток нейтрино, когда Земля находится вблизи перигелия, с потоком вблизи афелия: орбита Земли эллиптическая, и в перигелии поток нейтрино должен быть на 7% больше, чем в афелии — величина, которую можно зарегистрировать.

С тех пор были предложены и другие способы регистрации нейтрино. Так, работает нейтринный телескоп, созданный по схеме, предложенной Ф. Райнесом и Р. Вудсом (США), и действующий на основе реакции превращения изотопа лития ^7Li в изотоп бериллия ^7Be . Пороговая энергия нейтрино, регистрируемых с помощью такого литиево-бериллиевого детектора, превышает 6 МэВ. За год он может зарегистрировать 50 нейтрино.

В 1963 г. советский физик В. А. Кузьмин из Института ядерных исследований (ИЯИ АН СССР) предложил галлиевый детектор, способный регистрировать нейтрино «малых» энергий, образующихся в начальной стадии протон-протонного цикла. Он содержит контейнер с расплавом галлия ^{71}Ga . При взаимодействии нейтрино с атомом жидкого галлия (галлий плавится при температуре 30°C) образуется радиоактивный изотоп германия ^{71}Ge . Пороговая энергия галлиевого детектора составляет 0,233 МэВ, поэтому нейтрино с энергией 0,42 МэВ, которые составляют большинство солнечных нейтрино, должны уверенно регистрироваться, и ожидаемый эффект должен быть раз в 20 сильнее, чем в хлор-аргонном детекторе. Трудность здесь пока в том, что для подобного нейтринного телескопа требуется примерно 40 тонн галлия, а добывается его во много раз меньше. В настоящее время действует относительно небольшая лабораторная установка с несколькими сотнями килограммов галлия, созданная в ИЯИ АН СССР.

В 70-х годах на Кавказе, недалеко от Эльбруса, в глубине горы Андрычи начато строительство Баксанской нейтринной обсерватории, которой руководит член-корреспондент АН СССР Г. Т. Зацепин. Сейчас строительство уникального научного комплекса, позволяющего наблюдать Солнце в «нейтринном свете», завершается. В нем,

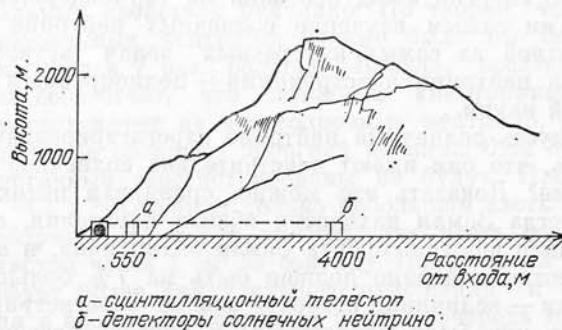


Рис. 83. Схема установки сцинтилляционного телескопа и нейтринных телескопов научного комплекса в недрах горы Андрычи

в условиях низкого фона космических лучей и естественной радиации, устанавливается несколько нейтринных телескопов, основанных на разных типах реакций превращения. По своим масштабам это будет настоящий подземный научный городок (рис. 83).

В глубоком штреке, на удалении 550 м от входа, уже установлен и с 1977 г. действует крупнейший в мире сцинтилляционный телескоп. Он состоит из большого бетонного блока высотой 11 м и основанием 16×16 м. Верхняя поверхность блока и два горизонтальных разреза предоставлены для сплошной установки сцинтилляционных детекторов. Каждый из детекторов — это алюминиевый контейнер размером $70 \times 30 \times 70$ см, заполненный жидким сцинтиллятором. Всего на всех трех уровнях установлено 3200 таких контейнеров. Частица высокой энергии, прошедшая через контейнер, вызывает лавинообразный процесс образования заряженных частиц — электронов и ионов, создающих черенковское свечение. Следя за происходящим в каждом контейнере с помощью фотоумножителей, можно регистрировать вспышки света, вызванные попавшей в контейнер частицей.

Этот сцинтилляционный телескоп регистрирует нейтрино и космические лучи высоких энергий не только сол-

нечного, но и галактического происхождения, возникающие при гравитационном коллапсе звезд или при вспышках новых или сверхновых звезд.

Гораздо глубже, на удалении 4 км от входа и на глубине около 2000 м, устанавливаются галлиево-германиевый и хлор-аргонный телескопы. Баксанский хлор-аргонный телескоп будет содержать в пять раз больше перхлорэтилена, чем детектор Дэвиса, и позволит быстрее накапливать наблюдательный материал.

Другой детектор изготовлен в Институте ядерных исследований АН СССР, а его электронная часть — в Институте космогеофизики Национального совета исследований Италии. Этот советско-итальянский нейтринный телескоп установлен в Альпах, в туннеле под Монбланом, на глубине 2 км.

Предполагается, что нейтринные телескопы позволят регистрировать вспышки сверхновых на несколько суток раньше, чем это позволяет делать оптическая астрономия. Действительно, на ранней стадии вспышки сверхновой за время $0,02$ с вместе с нейтрино выделяется энергия порядка $10^{51} - 10^{52}$ эрг, и если вспышка произошла в пределах нашей Галактики, то поток нейтрино, проходящий через Землю, составит $10^{10} - 10^{12}$ см²/с, что больше, чем поток солнечных нейтрино.

Подобные научные прогнозы блестяще оправдались, когда в ночь на 24 февраля 1987 г. на южном небе, в Большом Магеллановом Облаке вспыхнула сверхновая. На альпийской установке внезапно, в течение 7 секунд, было зафиксировано 5 нейтрино. Сходное явление было отмечено и на Баксанском нейтринном телескопе. А затем, через 5 часов пришла вторая «волна» нейтрино, отмеченная на четырех нейтринных установках разных стран. И сразу же возникли вопросы и споры — что могло вызвать вторую волну? Какие новые секреты природы могут скрываться за этим явлением?

Пока еще рано судить о том, что конкретно дадут нейтринные наблюдения. Ясно одно: это чрезвычайно важная для физики и астрофизики проблема. Она принесет решение таких задач, которые недоступны другим способам астрономических наблюдений. Так что, по-видимому, пришло время считать нейтринные наблюдения равноправной составной частью астрономии.

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ОБСЕРВАТОРИИ В КОСМОСЕ

§ 40. Внеатмосферная астрономия

Запуск 4 октября 1957 г. первого в мире советского искусственного спутника Земли раскрыл широкие перспективы для самых разных наук. Возникло новое научное направление — космические исследования, которым астрофизика передала ряд объектов своего изучения — в первую очередь Луну, Венеру, Марс и другие тела Солнечной системы. Эти тела в наши дни изучаются методами, далекими от методов традиционной астрономии. Достаточно напомнить, что лунный грунт анализируется непосредственно в земных лабораториях, что автоматические космические аппараты берут пробы вещества в атмосферах и на поверхности Венеры и Марса. Так что тут дело идет о новой науке — космических исследованиях, но уже не об астрономии. Но и собственно астрономии полеты ИСЗ и КА предоставили такие возможности, которыми наземная астрономия в принципе располагать не может. В космос запущены разнообразные астрономические приборы, с помощью которых изучаются классические астрономические объекты: Солнце, звезды, межзвездная материя, внегалактические объекты. Возник новый раздел астрономии — *внеатмосферная астрономия*.

Особенности строения земной атмосферы таковы, что она пропускает к нам только узкий диапазон падающего на Землю электромагнитного излучения: оптический диапазон спектра в интервале длин волн от 0,32 до 1 мкм, или, в принятых в астрономии единицах, от 3200 Å до 10 000 Å, т. е. видимый интервал спектра и тесно примыкающие к нему небольшие интервалы инфракрасного (ИК) и ультрафиолетового (УФ) излучения (рис. 84).

Более длинноволновое *инфракрасное излучение* в интервале до 1 мм поглощается молекулами водяного пара и углекислого газа, которые всегда присутствуют в атмосфере. Дальняя ИК область с длинами волн λ от 100 до 1000 мкм часто называется *субмиллиметровой*. Этот диапазон занимает как бы промежуточное

место между длинноволновым ИК диапазоном и радиодиапазоном.

В наиболее длинноволновом *радиодиапазоне* атмосфера прозрачна для λ от 1 до 4 мм и от 8 мм до 20 м, т. е. для приема на частотах порядка от 300 000 МГц до 10 МГц. Этого было достаточно для развития наземной радиоастрономии. Но более длинноволновое излучение не пропускается земной атмосферой.



Рис. 84. Области пропускания земной атмосферой для всего диапазона электромагнитного излучения

В коротковолновой области спектра при длинах волн от $\lambda = 4000$ до 100 Å , называемой *ультрафиолетовой*, атмосфера прозрачна только для участка от $\lambda = 3200 \text{ Å}$ до 4000 Å , называемого ближним ультрафиолетом. Более короткие длины волн поглощаются молекулярным озоном O_3 , небольшое количество которого находится на высотах от 10 до 50 км, причем наибольшая концентрация приходится на высоты от 20 до 25 км. Количество озона настолько невелико, что если сконцентрировать его до плотности, которую имеет атмосфера у поверхности Земли, то его слой составит всего 3 мм. Но этот слой озона предохраняет нас от ультрафиолетового облучения, которое губительно для всего живого. Наблюдения в этом диапазоне возможны только с высот выше 30 км.

Наблюдения в далеком ультрафиолете (λ от 2000 Å и короче) возможны только на высотах, доступных искусственным спутникам Земли или космическим аппаратам.

В еще более коротковолновом, *рентгеновском* диапазоне ($100 \text{ Å} > \lambda > 1 \text{ Å}$) и в гамма-диапазоне ($1 \text{ Å} > \lambda$)

чаще говорят не о длине волны λ , а об энергии фотона ϵ , выраженной в электрон-вольтах (эВ) ($1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ эрг}$), или килоэлектрон-вольтах — кэВ, мегаэлектрон-вольтах — МэВ, или гигаэлектрон-вольтах — ГэВ ($1 \text{ кэВ} = 1000 \text{ эВ}$, $1 \text{ МэВ} = 10^6 \text{ эВ}$, $1 \text{ ГэВ} = 10^9 \text{ эВ}$). Энергия фотона ϵ и длина волны λ связаны простым соотношением

$$\epsilon = \frac{hc}{\lambda} = \frac{12,6}{\lambda [\text{Å}]} \text{ кэВ},$$

где c — скорость света, h — постоянная Планка. Так, излучение с $\lambda = 2 \text{ Å}$ имеет $\epsilon = 6,4 \text{ кэВ}$, излучение с $\epsilon = 0,2 \text{ кэВ}$ соответствует длине волны рентгеновского излучения $\lambda \approx 60 \text{ Å}$, а длины волн γ -излучения меньше $0,1 \text{ Å}$ соответствуют энергиям больше $0,12 \text{ МэВ}$. Удалось зарегистрировать γ -излучение с энергией фотонов 10^{16} эВ . В лабораторных условиях получены γ -кванты с энергией порядка 100 ГэВ .

Прогресс космической техники, полеты искусственных спутников Земли, космических аппаратов и орбитальных космических станций позволили широко развернуть внеатмосферные наблюдения. Возникли рентгеновская и гамма-астрономия, широкое развитие получили ИК и УФ-астрономия. Тем самым астрономия сделала новый качественный скачок. Астрономия стала всеволновой.

Образно выражаясь, раньше мы видели Вселенную как бы в одном, черно-белом цвете. Сегодня астрономия представляет Вселенную во всех цветах электромагнитного спектра.

§ 41. Баллонная астрономия

Попытки проводить научные наблюдения, в том числе астрономические, с аэростатов были начаты задолго до космической эры: 30 июня 1804 г. Российская Академия наук организовала с научной целью полет воздушного шара. Спустя два месяца, 7 августа того же 1804 г. Гей-Люссак и Бю поднялись на высоту 4 км, а несколько позднее первый из них один поднялся на высоту 9 км для исследования атмосферы. В 1887 г. Д. И. Менделеев в Клину поднялся на аэростате выше облаков для наблюдения солнечного затмения. Менделеев летал один, без

пилота. Полет проходил не без приключений: ему самому пришлось делать ремонт клапана, что было довольно рискованно. Менделеев оставил подробную запись о своих наблюдениях.

В 1912 г. австрийский физик Виктор Франц Гесс поднялся на высоту 5 км, имея в гондоле три электроскопа, помещенные в герметические сосуды. Он отметил, что с высотой время разрядки электроскопов уменьшается, т. е. ионизация внутри герметически закрытых сосудов увеличивается с высотой. Тем самым было установлено наличие космического излучения — потока частиц высокой энергии, приходящих на Землю из космического



Рис. 85. Полет советской стратосферной автоматической астрономической станции

пространства. За это открытие В. Гесс получил в 1936 г. Нобелевскую премию.

Качественно новое развитие баллонная астрономия получила во второй половине XX в.

В шестидесятые годы астрономы-исследователи отказались от пилотируемых полетов, перейдя на автоматическое управление. Изменилась и конструкция аэростатов, заполняемая оболочка которых стала изготавливаться из полимерной пленки, и сами аэростаты превратились в баллоны, откуда и пошло название «баллонная астрономия».

С 1966 г. начались полеты советской стратосферной автоматической астрономической станции, созданной под научным руководством пулковских астрономов во главе с В. А. Кратом, — летающей солнечной обсерватории (рис. 85). Станция поднималась на высоту более 20 км с помощью полиэтиленового баллона объемом свыше

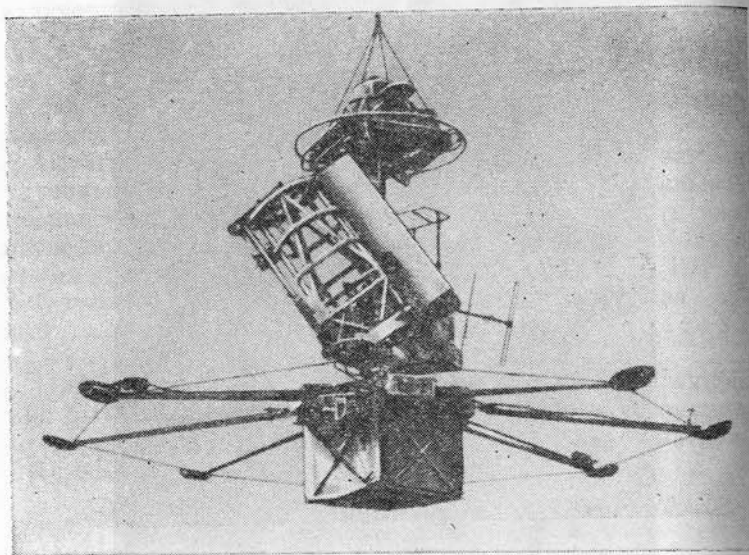


Рис. 86. Советская стратосферная астрономическая станция с солнечным телескопом

100 000 м³, наполненного гелием. На длинном фале под баллоном подвешивалась автоматическая астростанция. Основой станции служит платформа с шестью раскинутыми в стороны посадочными консолями (рис. 86), амортизатором и азимутальной колонной (на которой установлен азимутальный блок), с укрепленным на ней с одной

стороны контейнером аппаратуры автоматического управления, а с другой стороны — телескопом и парашютной системой.

Солнечный телескоп работает в схеме Кассегрена ($D = 1000$ мм, $F = 24$ м). Лучи света, собранные телескопом, с помощью светоделителя направлялись либо на спектрограф, регистрирующий спектр Солнца в трех участках спектра, либо на увеличительную камеру, обеспечивавшую фотографирование участка поверхности Солнца площадью $2 \times 3'$ при ширине кадра 8 см, либо на устройство автоматического контроля фокусировки. Телескоп направлен на Солнце, которое сильно его нагревает, и возникают сильные термические деформации, поэтому устройство автофокусировки непрерывно подправляет фокусировку по изображениям фотосферных гранул.

За период с 1966 по 1973 гг. было осуществлено четыре запуска советской стратосферной астрономической станции. Баллон поднимал полезный груз массой более 7,5 т на высоту около 20 км. Запас пленки в фотокамерах обеспечивал работу в течение 3—4 часов полета. За это время получалось 500—800 снимков на каждой из камер. При первых полетах в телескопе было установлено зеркало диаметром 0,5 м. Позднее оно было заменено большим, диаметром 1 м. Первое зеркало использовали в наземном солнечном телескопе, установленном на базе Памирской экспедиции ГАО АН СССР.

Полеты советской стратосферной астрономической станции принесли богатый научный материал и позволили получить новые данные о структуре грануляции фотосферы. Оказалось, что грануляция просматривается вплоть до края солнечного диска, что между гранулами и темными промежутками нет непрерывного перехода. Разрешающая способность снимков позволила четко выделить гранулы размером не более $0,3''$, а в последнем полете — даже размером $0,12''$. Была обнаружена резкая граница между пятнами и гранулами и показано, что эта граница простирается на $0,2''$, т. е. на расстояние около 150 км, а увидеть с Земли это невозможно. Получены и другие важные результаты.

Наблюдения с самолетов начались довольно давно и велись с простой целью: пронаблюдать то или иное астрономическое явление, когда для обычной обсерватории небо закрыто облаками. Например, во время солнечного затмения 1961 г., которое проходило в январе и почти вся территория нашей страны была покрыта облаками,

снимки солнечной короны были сделаны только с самолета, летевшего вдоль полосы затмения на высоте 6000 м.

Позже стали использовать самолеты для наблюдений не только в оптическом, но и в ИК и субмиллиметровом диапазонах. В Советском Союзе создана летающая лаборатория Института космических исследований на самолете АН-30 для наблюдений в далекой ИК и субмиллиметровой области. На этом самолете установлен рефлектор ($D=250$ мм, $F=1,75$ м), направленный в открытый иллюминатор. В соседнем, герметичном отсеке находятся блоки управления, вычислительные устройства и системы отображения — телеэкраны. Обслуживающий персонал, находящийся в достаточно комфортных условиях, направляет и контролирует работу телескопа. Полет проходит на высотах 7—8 км. Трудность заключается здесь в том, что при горизонтальном полете концентрация поглощающих веществ над самолетом (водяного пара, озона, кислорода) меняется, а это изменяет показания приборов и может создать дополнительные ошибки при вычислении результатов.

В Советском Союзе с 1949 г. для научных наблюдений используются геофизические ракеты, поднимавшие приборы на высоту около 100 км, затем более мощные ракеты, способные поднять полезную нагрузку до 1300 кг на высоту порядка 500 км. С 1970 г. в нашей стране проводятся регулярные запуски с научными, в том числе астрономическими, целями ракеты «Вертикаль». Это — мощная геофизическая ракета, диаметром 1,6—2 м, высотой от 23 до 40 м, поднимающая груз приборов массой до 1300 кг на высоты порядка 500 км и выше, до 1500 км. Это обеспечивает время наблюдений вне атмосферы от 10 до 20 минут.

Значительная часть таких экспериментов проводится совместно с другими социалистическими странами в рамках программы «Интеркосмос».

§ 42. Астрономические наблюдения с искусственных спутников Земли и с космических аппаратов

Это наиболее распространенный и наиболее результативный вид внеатмосферных астрономических наблюдений. Те или иные преимущества имеют все виды астрономических наблюдений в космосе. Даже в оптическом

диапазоне, где наземные наблюдения, несомненно, очень важны, ряд исследований выполнен из космоса. Так, наблюдения деталей на поверхности Солнца, его фотосферы и хромосферы, о которых подробно говорилось в § 41, проводятся и с ИСЗ. Другим примером оптических наблюдений является фотометрия широких областей Млечного Пути, туманностей, ярких галактик, зодиакального света и противосияния, выполненная при работе с камерой ПИРАМИГ во время полета советско-французского экипажа на орбитальной космической станции «Салют-7» в июне 1982 г.

Камера ПИРАМИГ устанавливалась перед иллюминатором орбитальной космической станции (ОКС). Она снабжалась объективами диаметром 4 и 7 см с относительными отверстиями 1:1,2 и 1:2, с полем зрения 40° и 12°. Для повышения чувствительности перед фотопластинкой размещался ЭОП — микроканальная пластина размером 40 мм, что и определило размер снимка. Микроканальная пластина обеспечивала усиление изображения порядка 10^3 . В результате на снимках, при коротких экспозициях, получались звезды до 10^м и иногда до 12^м. На снимках видна темная поверхность Земли, светящиеся слои атмосферы и звезды южного неба.

С помощью французской камеры ПСН в этом же полете проводилась фотометрия областей Млечного Пути, зодиакального света и противосияния.

Для наблюдений в инфракрасном и субмиллиметровом диапазонах применяются такие же телескопы-рефлекторы, как и при оптических наблюдениях, но приемники излучения — термодары, электронные болометры и др. — охлаждаются в криостатах. ИК радиометры устанавливались на советских автоматических межпланетных станциях (АМС) серий «Венера», «Марс» и др.

Значительный интерес представили ИК наблюдения с бортовым субмиллиметровым телескопом БСТ-1М, выведенным на орбиту на ОКС «Салют-6» в 1977 г. Диаметр главного параболического зеркала БСТ равнялся 1,5 м при очень коротком радиусе кривизны: даже в схеме Кассегрена, в которой работает БСТ, телескоп имеет относительное отверстие 1:3,3, что у наземных телескопов не встречается. С помощью системы промежуточных зеркал ИК излучение передается на два фотосопротивления, охлаждаемых до температуры жидкого гелия. Наведение на объект осуществлялось предварительным разворотом всей станции «Салют-6» с точностью до 5°, а затем си-

стема управления БСТ-1М стабилизировала направление на выбранный источник с погрешностью до 2—3'.

Как уже отмечалось, ионосфера Земли не пропускает радиоизлучение на частотах менее 10 МГц. Поэтому наблюдения в этом диапазоне с помощью штыревых и дипольных антенн стали проводиться на ИСЗ и АМС с начала 60-х годов. Объектами наблюдений были галактическое диффузное излучение, всплески на Солнце, радиоизлучение планет и самой Земли.

Для подробных исследований изотропности реликтового радиоизлучения, которое, по предположению, должно равномерно поступать со всех сторон, был проведен эксперимент «Реликт». Первого июля 1983 г. был запущен ИСЗ «Прогноз-9», на борту которого были установлены два высокочувствительных радиометра; один из них был направлен в точку неба, противоположную Солнцу, а другой сканировал небесную сферу по большому кругу, перпендикулярному направлению на Солнце.

Важный эксперимент по наблюдениям космических радиоисточников с помощью радиointерферометра, один

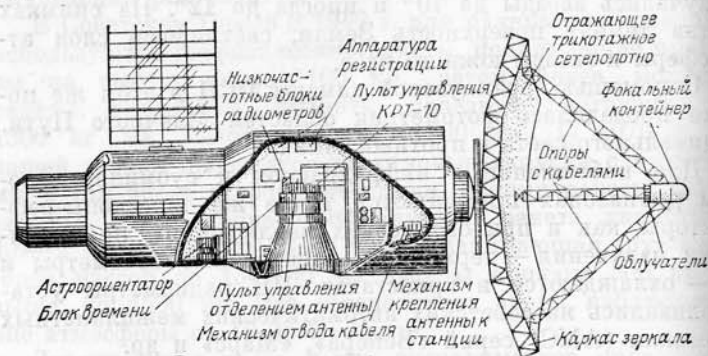


Рис. 87. Радиотелескоп КРТ-10, состыкованный с ОКС «Салют-6»

конец базы которого находился на Земле, а другой в космосе, был проведен на ОКС «Салют-6». Транспортным кораблем «Прогресс-7» на станцию был доставлен, в сложенном положении, радиотелескоп КРТ-10 (космический радиотелескоп диаметром 10 м). Антенна была установлена в заднем стыковочном узле станции и, после отстыковки «Прогресса-7», выдвинута и раскрыта (рис. 87). Наблюдения продолжались с 18 июля по 9 августа 1979 г. Наблюдалось радиоизлучение Солнца, Крабовид-

ной туманности, наземного радиоисточника, а также вулкана Этна, действовавшего в то время. КРТ-10 работал вместе с наземным радиотелескопом РТ-70 в Крыму: тем самым была осуществлена схема радиointерферометра с базой, превышающей диаметр Земли.

Внеатмосферные наблюдения в γ -диапазоне в силу того, что γ -кванты обладают высокой энергией и огромной проникающей способностью, позволяют регистрировать γ -излучение, возникающее в областях, окруженных веществом высокой плотности, которое не пропускает фотоны других диапазонов. Это делает возможным наблюдения процессов, протекающих в плотных газопылевых облаках, при вспышках новых и сверхновых звезд, особенно на ранней стадии вспышек, а также в центральных частях ядер галактик. Однако оказалось, что, во-первых, обнаруженные потоки γ -излучения значительно меньше предполагаемых и, во-вторых, сами потоки весьма малы. Кроме того, γ -телескопы не обладают способностью фокусировать падающий на них поток излучения. Все это приводит к тому, что при высоких энергиях, превышающих 10 МэВ, фон заряженных частиц примерно в 10^4 раз превышает поток регистрируемых γ -частиц. Возникают большие трудности в регистрации полезного сигнала, и перед γ -астрономией стоит задача — повысить чувствительность своих приемников излучения в 100—1000 раз. Тем не менее при полетах ИСЗ «Вела» (США), «Снег-3» (Франция) и спутников серии «Прогноз» (СССР) было зарегистрировано более 200 всплесков γ -излучения с временем возрастания интенсивности от миллисекунд до нескольких секунд и падения от единиц до нескольких десятков секунд. О природе таких всплесков строятся различные предположения.

Начиная с 60-х годов, на многочисленных ИСЗ и АМС проводились наблюдения звезд и других источников в ультрафиолетовом диапазоне. Получены данные об излучении десятков тысяч звезд и об УФ спектрах многих тысяч звезд. Спектры звезд в УФ диапазоне были получены П. И. Климуком и В. В. Лебедевым во время полета космического корабля «Союз-13» в 1973 г. Они получили спектрограммы нескольких тысяч звезд до 13^m .

Новые и иногда неожиданные результаты получены при наблюдениях в рентгеновском диапазоне, где величины потоков от обнаруженных источников оказались выше, чем это предсказывалось теорией. Благодаря наблюдениям в рентгеновском диапазоне были обнаружены

многие экзотические объекты, например, нейтронные звезды в двойных системах, и вряд ли бы мы знали о таких объектах, если бы не было внеатмосферной астрономии. Рентгеновские телескопы устанавливались на некоторых ИСЗ серии «Космос», на орбитальных станциях «Салют-4» и «Салют-7».

§ 43. «Астрон»

23 марта 1983 г. в нашей стране был запущен специализированный астрономический спутник «Астрон», снабженный аппаратурой для ультрафиолетовых и рентгеновских наблюдений. Спутник был выведен на орбиту, наклоненную на $51,5^\circ$ к плоскости экватора и сильно вытянутую: в перигее он подходит на 2000 км к Земле, а в апогее удаляется от нее на 200 000 км. Это позволяет ему 90% времени находиться вне радиационных поясов Земли и тем самым освободиться от создаваемых ими помех.

Ультрафиолетовый телескоп «Спики» работает в схеме Кассегрена. Главное зеркало имеет диаметр 80 см. И главное, и вторичное зеркало имеют гиперболическую поверхность, поэтому телескоп дает достаточно широкое поле зрения диаметром 1° . Эффективное фокусное расстояние «Спики» составляет 8 м. Для уменьшения температурных деформаций оба зеркала изготовлены из силалда. Приемники излучения — три фотоумножителя — позволяют измерить интенсивность излучения в диапазоне от $\lambda = 1140$ до $\lambda = 3400 \text{ \AA}$ с высоким ($0,4 \text{ \AA}$) и низким (14 и $28 \text{ \AA}$) разрешением. В создании аппаратуры для ультрафиолетового телескопа принимали участие специалисты Франции.

Рентгеновский телескоп СКР-02 может регистрировать рентгеновское излучение в диапазоне энергий фотонов от 2 до 25 кэВ и способен анализировать рентгеновский спектр исследуемого источника. Телескопу СКР-02 доступны довольно слабые рентгеновские источники.

Свои первые наблюдения «Астрон» (рис. 88) начал с созвездия Тельца с яркой звездой Альдебаран и с звездного скопления Плеяд. Затем началась регулярная работа. Сеансы связи проводятся, когда станция находится вблизи апогея, и продолжаются от 3 до 5 часов. Время наблюдений распределяется между «Спикой» и СКР-02 как 3 : 1.

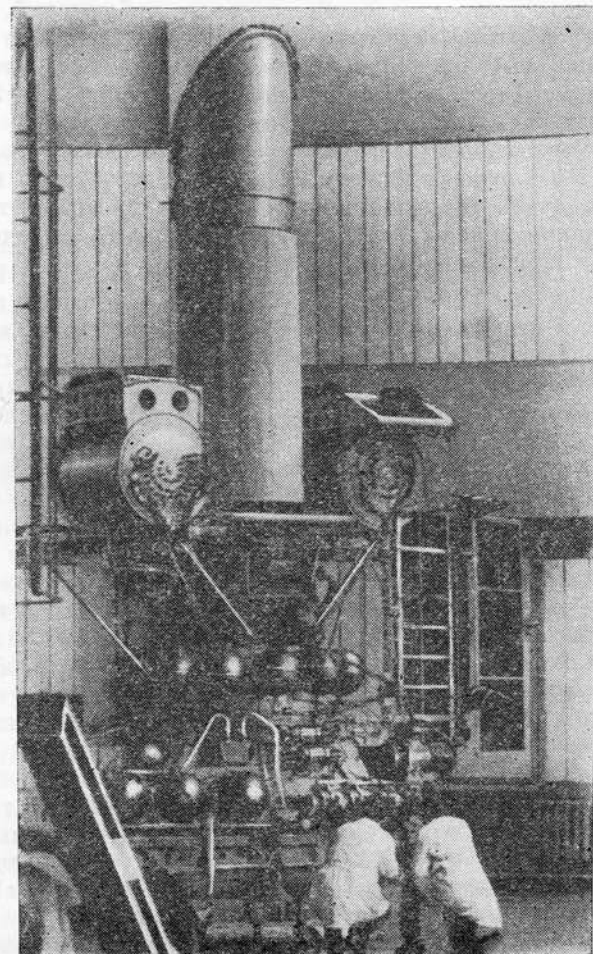


Рис. 88. Советская автоматическая астрономическая станция «Астрон». Вверх направлен ультрафиолетовый телескоп «Спики». Справа и слева от него установлены цилиндрические контейнеры с приборами, на которых размещены рентгеновские спектрометры СКР-02

Ресурсы работы станции позволили продолжать наблюдения много лет. За четыре года полета станции проведено несколько сотен сеансов наблюдений. Получены важные научные результаты: открыто необычайно высокое содержание сверхтяжелых элементов в атмосферах некоторых звезд, обнаружен новый вид звездных вспышек, выявлены неизвестные ранее особенности ультрафиолетового излучения активных галактик, определен характер изменения скорости истечения вещества из очень горячих звезд. «Астрон» проводил также наблюдения кометы Галлея. Работа этой астрофизической станции продолжается.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Число астрономических обсерваторий непрерывно растет. Некоторые из них переехали на новое место, с лучшими условиями для наблюдений, для других построены филиалы или наблюдательные станции. Общее число научных астрономических обсерваторий во всем мире (не считая любительских) превышает в настоящее время 500, причем 90% из них расположено в северном полушарии.

Естественно возникает вопрос: какими будут телескопы в ближайшем будущем? Какие новые разработки, какие новые идеи будут внесены в астрономию, скажем, к 2000 году?

Телескоп — инструмент, имеющий долгую жизнь. Существующие телескопы еще не исчерпали своих возможностей. Поэтому можно предположить, что большинство крупных работающих телескопов будут продолжать свою работу и в 2000 г., хотя некоторые из них будут перенесены на новое более благоприятное место. До конца века в нашей стране будет построено еще несколько мощных телескопов и широкое распространение получат новые, более совершенные приемники излучения, что приблизит возможности телескопов к теоретическому пределу.

Намечаются и новые пути. Однако дело здесь обстоит не однозначно. С одной стороны, уже разработаны многие программы для наблюдений на существующих телескопах. Они раскрывают нам еще много неизвестных свойств и явлений природы. Такие программы потребуют усилий большинства астрономов как в XX, так и в начале XXI в.

С другой стороны, вынос телескопов в открытый космос, за пределы земной атмосферы, раскрывает широкие горизонты для астрономических исследований. Существует ряд причин, по которым конструкция инструментов для внеатмосферной астрономии сильно отличается от

конструкции наземных телескопов. Но эти трудности могут быть преодолены конструкторами космической техники. Например, вывод на орбиту вокруг Земли двухметрового оптического телескопа даст выигрыш в пять звездных величин по сравнению с аналогичным инструментом на поверхности Земли. Однако основными направлениями внеатмосферных наблюдений будут не оптические наблюдения, а наблюдения в ультрафиолетовом, инфракрасном, рентгеновском и γ -диапазонах. Вместе с наземными оптическими и радиоастрономическими наблюдениями, взаимно дополняя друг друга, они дадут яркую картину Вселенной. Но полностью заменить наземные наблюдения внеатмосферные наблюдения не смогут. Наземные оптические наблюдения, благодаря своей доступности, простоте и испытанности останутся весьма эффективным средством исследования Вселенной.

Развитие наземной астрономической техники еще не достигло своего предела. Строительство астрономических обсерваторий в горах, в местности с оптимальным астроклиматом значительно повысит производительность работы астрономов. Высказана идея создания в скором будущем многозеркального телескопа. Его общая поверхность в 20 раз больше, чем у самых крупных современных телескопов.

Многозеркальные телескопы представляют собой совокупность из 4, 6, 12 или большего числа отдельных зеркал, каждое из которых независимо наводится на наблюдаемый объект, и информация от каждого телескопа суммируется на ЭВМ. Так, 25-метровый телескоп может быть составлен (такие варианты рассматриваются) из 108 телескопов с диаметром зеркал 2,4 м, из 72 телескопов с диаметром 3 м или из 16 телескопов диаметром 6,25 м.

Мозаичные зеркала состояются из множества круглых или шестигранных зеркал, которые собирают излучение в общем фокусе. Многозеркальные и мозаичные телескопы гораздо дешевле обычных и, главное, их детали проще в изготовлении, чем равные им по площади телескопы с зеркалами из целого блока стекла. Однако на пути создания таких телескопов еще стоит много нерешенных технических проблем.

ПРИЛОЖЕНИЕ

СПИСОК ОСНОВНЫХ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ОБСЕРВАТОРИЙ СОВЕТСКОГО СОЮЗА С УКАЗАНИЕМ ДАТЫ ОСНОВАНИЯ (в скобках указаны даты перестройки или реорганизации)

Абастуманская астрофизическая обсерватория АН СССР	1932
Астрофизический институт АН КазССР	1941
(Алма-Атинская обсерватория)	(1951)
Ашхабадская астрофизическая лаборатория АН ТССР	1946
Байкальская астрофизическая обсерватория СибИЗМИР	1970
Благовещенская широтная станция ГАО АН СССР	1959
Бюраканская астрофизическая обсерватория АН АрмССР	1946
(1956)	
Солнечная обсерватория ИЗМИРАН в Ватутинках (под Москвой)	1952
Астрономическая обсерватория Вильнюсского гос. университета им. В. Капсукаса	1753
(1926)	
Гиссарская астрономическая обсерватория АН ТаджССР	1963
Главная астрономическая обсерватория АН СССР (ГАО АН СССР) в Пулкове	1839
(1954)	
Главная астрономическая обсерватория АН УССР (ГАО АН УССР) (Голосеевская обсерватория)	1944
Радиоастрономическая база ИРЭ АН УССР в Граково	1958
Институт астрофизики АН ТаджССР (Душанбинская обсерватория)	1932
(1958)	
Звенигородская наблюдательная станция Астросовета АН СССР	1961
Специальная астрофизическая обсерватория АН СССР (САО) близ станции Зеленчукской	1966
Радиоастрономическая лаборатория НИРФИ в Зименках, под Горьким	1949
(1970)	
Иркутская астрономическая обсерватория	1931

Астрономическая обсерватория им. Энгельгардта при Казанском гос. университете им. В. И. Ульянова-Ленина	1901
Астрономическая обсерватория Киевского гос. университета им. Т. Г. Шевченко	1845
Китабская международная широтная станция им. Улугбека	1930
Горная солнечная станция ГАО АН СССР под Кироводском	1948
Крымская астрофизическая обсерватория АН СССР	1945
Крымская научная станция ФИАН	1952 (1962)
Южная наблюдательная станция ГАИШ в Крыму	1958
Коуровская астрономическая обсерватория Уральского гос. университета им. А. М. Горького	1965
Астрономическая обсерватория Ленинградского гос. университета им. А. А. Жданова	1881
Астрономическая обсерватория Львовского гос. университета	1907
Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга (ГАИШ) при Московском гос. университете им. М. В. Ломоносова (Московская обсерватория)	1831 (1931) (1954)
Николаевское отделение ГАО АН СССР (Николаевская астрономическая обсерватория)	1827 (1912)
Астрономическая обсерватория Одесского гос. университета им. И. И. Мечникова	1871
Полтавская гравиметрическая обсерватория АН УССР	1926
Радиоастрономическая станция ФИАН в Пущине	1956
Астрономическая обсерватория Латвийского гос. университета им. П. И. Стучки (Рижская обсерватория)	1922
Радиоастрофизическая обсерватория АН ЛатвССР в Балдоне	1958
Самаркандская астрономическая обсерватория (музей)	XV век
Саянская солнечная обсерватория СибИЗМИР	1962
Симеизская экспериментальная станция Астросовета АН СССР	1908 (1975)
Радиоастрономическая станция НИРФИ «Старая Пустынь»	1964
Тартуская астрономическая обсерватория им. В. Я. Струве АН ЭССР	1809 (1964)
Астрономический институт АН УзССР (Ташкентская астрономическая обсерватория)	1875 (1966)
Ужгородская станция наблюдений ИСЗ	1957
Уссурийская солнечная станция СибИЗМИРАН	1954
Астрономическая обсерватория Харьковского гос. университета им. А. М. Горького	1808
Шемахинская астрофизическая обсерватория АН АзССР	1960

70 коп.

